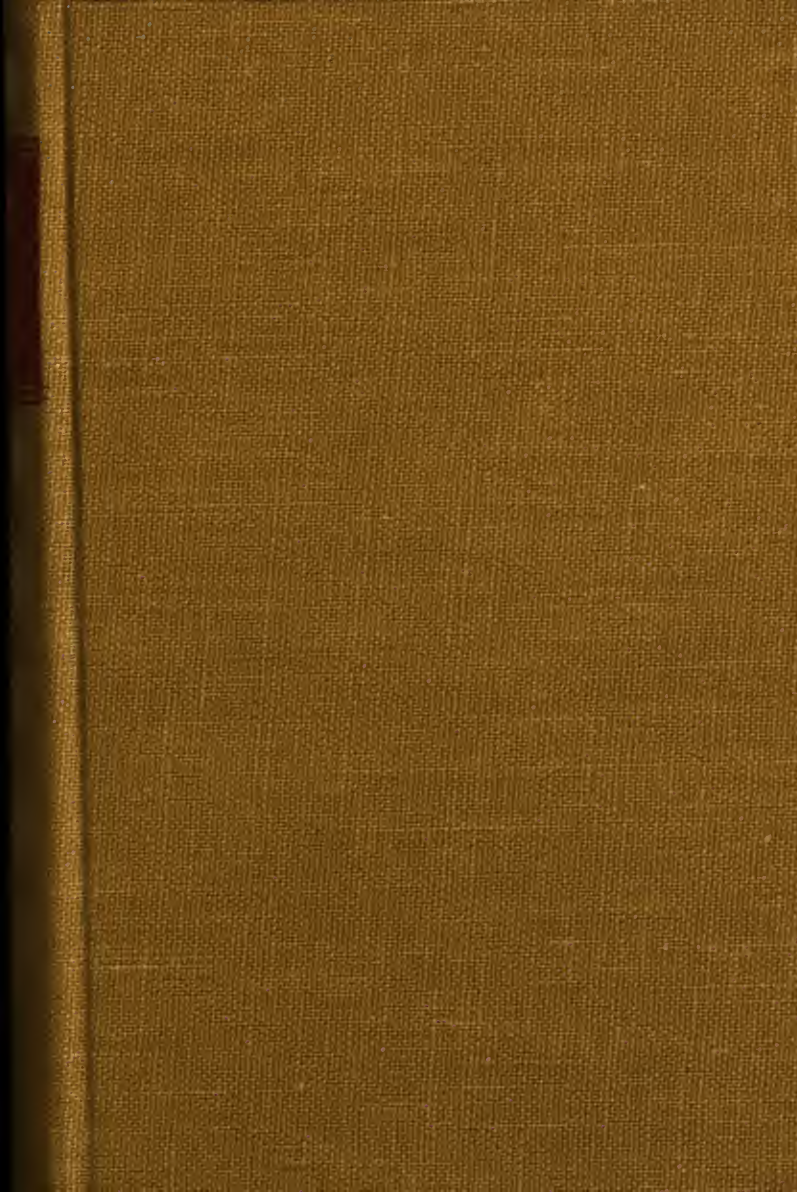
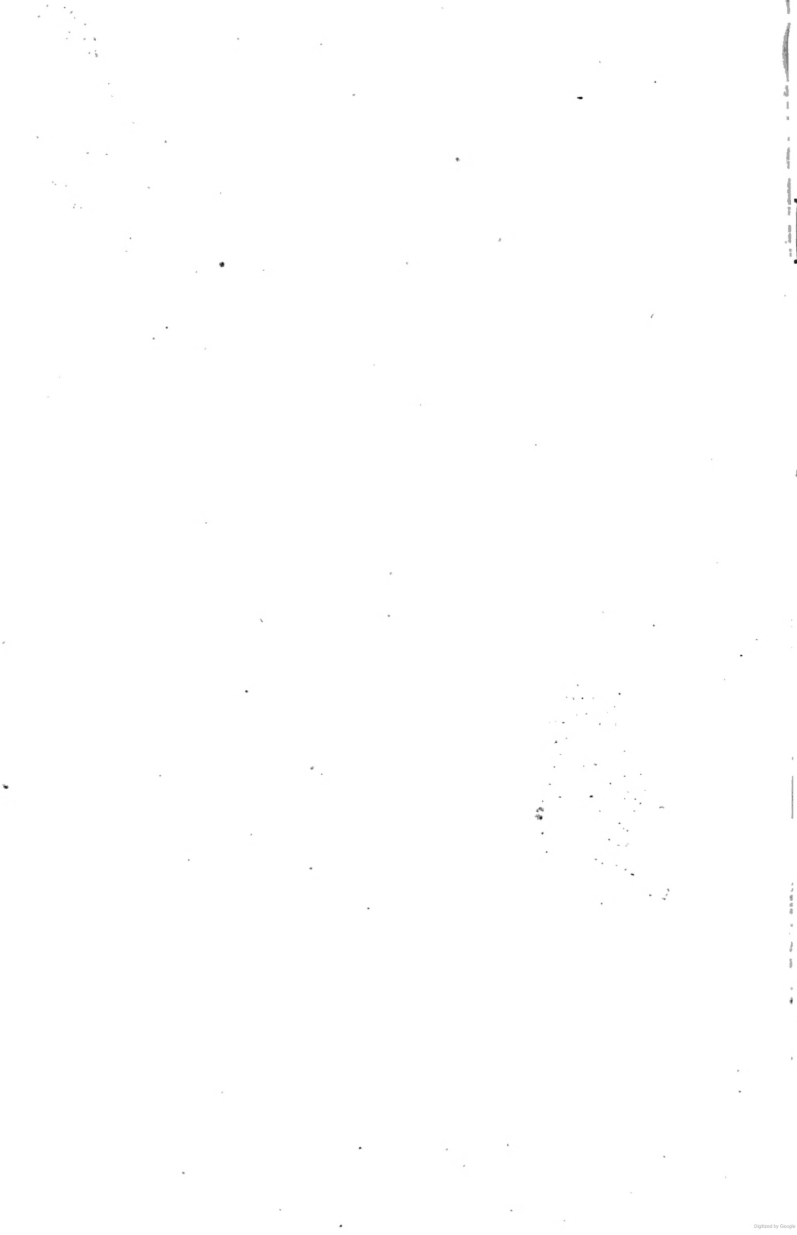






12
8
508

ELEMENTI DI FISICA.



ELEMENTI DI FISICA

PER

GIOVANNI CANTONI

PROFESSORE NELL'UNIVERSITA' DI PAVIA

MEMBRO DELL'ISTITUTO LOMBARDO E DELLA ACCADEMIA DEI LINCEI, ECC.

TERZA EDIZIONE

ACCRESCIUTA E MIGLIORATA



MILANO

DOTT. FRANCESCO VALLARDI, TIP.-EDIT.

1876

Proprietà letteraria

AL LETTORE

Il favore incontrato dalle prime due edizioni di questi *Elementi*, incoraggiò l'Autore a migliorarne la compilazione.

In questa terza edizione vennero ristabilite alcune cose trascurate nella seconda, altre furono aggiunte di nuovo, altre innovate nella esposizione, altre schiarite con nuove descrizioni di sperienze e di stromenti. E soprattutto si cercò di agevolare viemeglio l'intelligenza dei principj delle moderne teorie dinamiche, e di approfittare dei recenti trovati sperimentali.

Pavia, Maggio 1876

PROEMIO DELLA PRIMA EDIZIONE.

Quando nel 1853 io iniziava in Lugano la pubblicazione d'un *Manuale di Fisica*, la dottrina della correlazione ed equivalenza delle varie forze fisiche non era ancora, massime in Italia, accolta con quel favore che alcuni anni dopo essa trovò, e solo veniva discussa colle forme elevate e compendiose che si convengono

alle monografie accademiche degli scienziati. In quel Manuale io tentai di tradurre l'accennata dottrina sotto forme elementari, convenevoli per l'insegnamento nei corsi secondarî di studio. Però, in Lugano, e per le molte occupazioni mie, e per la scarsezza de' mezzi di studio, non potei, che assai lentamente, condurre innanzi quel lavoro, tanto più che alla termologia volli dare uno sviluppo molto maggiore che non si facesse nei comuni compendj di Fisica. In varie mie successive pubblicazioni mi adoperai a svolgere alcuni speciali argomenti con le vedute di quella dottrina. Ma ormai, vedendo che da nessuno, almeno in Italia, si dava compimento al proposito da me intralasciato, credetti non inutile di riprenderlo, tentando la redazione d'un compito corso di Fisica, nei limiti posti alla istruzione secondaria, e secondo i principj della teoria dinamica delle energie fisiche.

In Italia v'era un libro elementare di Fisica, di altissimo pregio, il quale poteva preparare la gioventù nostra ad una facile intelligenza delle moderne dottrine, benchè queste in tal libro non fossero, nè allora il potevano essere, accennate. Voglio dire le *Lezioni elementari di Fisica matematica*, date a Corfù, nel 1841 dall'insigne Mossotti, e pubblicate in Firenze nel 1843. I principj di Meccanica e tutti i capi della Fisica vi sono trattati con un metodo affatto conforme a quello che tuttodì vuolsi seguire, in base alle predette recenti dottrine. Nondimeno non pochi nostri insegnanti lasciarono quelle sicure vie, per attenersi a taluni elementarissimi e mal digeriti Manuali di Fisica, che ci venivano da Francia; talchè quel prezioso libro non ebbe manco l'onore di una seconda edizione durante la vita

dell'illustre autore. Però io non esito a dichiarare di essermi largamente giovato dell'opera del Mossotti, massime nei primi capi di questo Corso elementare.

Anzi le nozioni di Meccanica e le leggi della gravità, applicate anche alle condizioni d'equilibrio per i corpi fluidi, furono svolte in questi *Elementi* con maggiore larghezza che non si soglia nei Manuali di Fisica, poichè quelle formano la base di tutte l'altre parti della scienza, e la norma delle loro applicazioni.

Quanto alla descrizione degli esperimenti, e degli apparecchi o stromenti adoperati per eseguirli, io mi limito alle più importanti nozioni ad essi relative; lasciando poi agli insegnanti di dichiararli coi migliori mezzi de' quali possono disporre.

Avvertirò ancora che qui tralasciai di discutere il valore delle dottrine ammesse in precedenza nella Fisica, onde non ingombrare la mente della gioventù studiosa con talune fantastiche teorie, che vorremmo fosser presto dimenticate. D'altronde di questo argomento io mi occupai in altra pubblicazione (1).

Pavia, Novembre 1869.

(1) *Lezioni di Fisica*, Milano 1869, Tip. Vallardi.

CAPO I.

PROPRIETÀ GENERALI DEI CORPI

Definizioni preliminari.

§ 1. Ogni oggetto capace di produrre in noi determinate sensazioni, cioè ogni oggetto sensibile, è chiamato *corpo*; e dicesi *fenomeno*, da *φαινόμενον*, apparenza, qualsiasi manifestazione od atto sensibile d'un corpo o d'un sistema di corpi. La totalità delle cose esistenti, o meglio l'insieme de' corpi, che ponno operare sui nostri sensi, denominasi *universo sensibile*, od anche *natura*.

Dicesi poi *proprietà* di un corpo ogni attitudine sua a produrre determinati fenomeni. Però son dette *particolari* le proprietà che si riconoscono solo in una data classe o specie di corpi, od anche solo in un individuato corpo; e si dicono *generalì* le proprietà che, essendosi riscontrate in tutti i corpi sui quali ci è dato istituire osservazioni od esperimenti, son giudicate, per induzione, appartenere a tutti i corpi esistenti.

Comunemente si qualificano proprietà generali dei corpi: la estensione, la impenetrabilità, la porosità, la divisibilità, la mobilità, l'elasticità, la gravitazione, l'affinità, la termicità, la luminosità, la elettrizzabilità, ecc., secondo che diremo più innanzi per ciascuna di esse.

Si compie un'osservazione, quando si notano accuratamente tutte le circostanze e le particolarità d'un dato fenomeno naturale: si effettua un'esperienza, quando poniamo attenzione alle mutazioni che si provocano nello stato dei corpi col variarne ad arte le condizioni e le circostanze.

Le condizioni necessarie, o gli elementi necessari alla produzione di un dato fenomeno costituiscono la *causa fisica* del fenomeno stesso. Ed i rapporti di quantità o grandezza, che si verificano fra i vari elementi o fattori di un dato ordine di fenomeni si chiamano *leggi de' fenomeni medesimi*.

Le leggi si svelano per *induzione* o per *ipotesi*, e si dimostrano o si verificano mercè il raziocinio od il calcolo.

La *spiegazione* dei fenomeni richiede la cognizione delle loro condizioni e delle loro leggi.

Dietro ciò la *fisica* può definirsi: *la scienza che si propone la spiegazione dei fenomeni riguardanti le proprietà generali dei corpi, ricercandone le condizioni e le leggi*.

Ripartizione delle scienze fisiche.

§ 2. Ove si guardasse solo all'etimologia, il vocabolo *fisica*, da *physis* natura, accennerebbe al complesso delle cognizioni possibili su l'universo sensibile. Ma come tale sarebbe essa una scienza vasta oltremodo. Fu quindi necessità il ripartirla in tante speciali scienze. Talune di queste riguardano la descrizione delle cose e dei fatti della natura, tal'altre mirano alla conoscenza delle leggi de' naturali fenomeni. Le prime costituiscono la *Storia della natura*, l'altre la *Filosofia della natura*.

La storia naturale comprende la descrizione del cielo (uranografia), della terra (geografia), delle pietre e rocce (mineralogia e geologia), delle piante (fitografia) e degli animali (zoografia). La filosofia naturale abbraccia la meccanica, la fisica, la chimica, l'astronomia, la geognosia e la biologia.

La *meccanica* ricerca le leggi delle varie nature di moto de' punti materiali o de' sistemi dei punti, e le leggi delle composizioni di tali moti tra loro. La *chimica* studia le proprietà caratteristiche delle diverse nature di corpi e le leggi di quelle loro mutue azioni per le quali ora corpi diversi si uniscono tra loro producendo corpi da essi differenti, ed ora un dato corpo si scinde, originando due o più corpi tra loro diversi. L'*astronomia* determina le leggi dei moti degli astri e delle reciproche influenze che questi esercitano tra loro. La *geognosia* ricerca le condizioni delle successive rimutazioni avvenute nelle parti superficiali del nostro pianeta, e delle mutue influenze che tuttodì queste manifestano fra di loro. E la *biologia* indaga le leggi della vita, ossia le leggi dello svolgimento e delle funzioni dei corpi organizzati.

La *fisica*, definita come s'è detto sopra, si pone tra la meccanica e la chimica, quale anello di congiunzione; epperò investe ben so-

vente il campo dell'una o dell'altra, ora dovendo tener conto delle peculiari proprietà de' corpi ne' quali essa investiga talune generali proprietà, ed ora riconducendo questi fenomeni alle leggi generali della meccanica. In altre parole la fisica intende altresì a scoprire le relazioni sussistenti fra le generali proprietà meccaniche dei corpi e le loro proprietà chimiche.

Materia e forza.

§ 3. Siccome poi tutti i corpi di natura, oltre alle svariatissime loro proprietà individuali per le quali possono distinguersi gli uni dagli altri, presentano pur sempre le proprietà che abbiamo dette generali (§ 1), così si pensò di denominare *materia* la sostanza generica dei corpi, in virtù della quale in ognuno di essi sussistono le proprietà generali, astrazion fatta da quanto interviene ne' singoli corpi a produrre le loro particolari proprietà. D'altra parte siccome i corpi stessi agiscono gli uni sugli altri per modificarsi nel rispettivo loro stato, si pensò di denominare *forza* la condizione per cui un corpo può modificare lo stato di altro corpo. Perciò avvenne che taluni fisici considerarono la materia e la forza come due distinti principii dei corpi. Altri attribuirono alla materia solo alcune proprietà generali, cioè la estensione e la impenetrabilità, ed attribuirono ad altrettante forze talune altre proprietà generali, come la gravitazione, l'affinità, il calore, la elettricità, ecc.

Ma non è difficile persuadersi che materia e forza, anziché due distinti principii, sono due aspetti sotto i quali la mente nostra può considerare qualsiasi corpo, in quanto esso vien modificato, ed insieme modifica gli altri, che col medesimo coesistono.

La forza è la condizione della incessante mutazione delle cose, e la materia è la condizione della loro conservazione: ma l'una non può andare scompagnata dall'altra, come il moto, che è la più generale manifestazione della forza, non può concepirsi all'infuori dei corpi.

Estensione.

§ 4. L'*estensione*, considerata nei corpi corrisponde alla loro proprietà generale di occupare una determinata porzione di spazio, così da produrvi speciali resistenze per altri corpi. Però la estensione, considerata in sé, indipendentemente dalla materia dei corpi, corrisponde al concetto di spazio. Dicesi *spazio*, in generale, la condizione fisica, per la quale le singole cose esistenti possono tener luoghi distinti le une dalle altre.

Ora, in quanto sono estesi, i corpi aver devono un volume ed una

figura. Dicesi *volume apparente* d'un corpo la grandezza dello spazio limitato dalla sua superficie apparente, e dicesi *figura* di un corpo lo speciale aspetto offertoci dall'insieme delle parti costituenti la sua superficie apparente.

Abbiamo qualificato di apparente il volume di un corpo così definito, in quanto che la materia costituente un corpo non è mai continua, ma sta sempre divisa in tante parti estremamente piccole, chiamate *molecole*, separate tra loro da piccolissimi spazietti non contenenti la materia propria del corpo stesso.

Perciò la detta proprietà dell'estensione si riferisce più direttamente alle molecole, le quali veramente avranno un volume ed una figura. Ond'è che il *volume reale* d'un corpo sarebbe dato dalla somma dei volumi di tutte le molecole che lo costituiscono: laddove il volume apparente comprende altresì la somma degli spazietti intermolecolari, chiamati *pori* fisici, compresi entro la sua superficie apparente.

Impenetrabilità, porosità, divisibilità.

§ 5. E dicendosi impenetrabile un esteso in quanto esso non può in uno stesso tempo occupare una porzione di spazio occupata da altro esteso, le molecole di corpi si diranno impenetrabili, ossia si dirà essere una proprietà generale della materia de' corpi la *impenetrabilità*. Ma, d'altra parte, gli spazietti intermolecolari di un corpo potranno essere investiti dalle molecole d'altro corpo, ossia i corpi sono, in dati casi, penetrabili, attesa la loro porosità.

Pertanto si potrà ammettere essere ogni corpo costituito da un aggregato di parti estremamente piccole, dette molecole, le quali, per reciproche loro influenze, stanno unite tra loro, così da spiegare qualche reazione alle azioni degli altri corpi su di esso. In altre parole, un corpo potrà essere concepito quale *un sistema di punti estesi ed impenetrabili, discosti sempre alcun po' tra loro, e collegati da mutue azioni aggregatrici*.

Ma per ciò appunto ogni corpo potrà pur dirsi un aggregato di parti discontinue e divisibili fra loro. La *discontinuità* o *porosità* risponde alla sussistenza degli spazietti intermolecolari; e la *divisibilità* o *disgregabilità* del corpo apparirà ogni qualvolta si contrappongano alla forza aggregatrice delle sue molecole altre forze ad essa prevalenti.

È in tal senso che più sopra (§ 1) si annoverarono tra le proprietà generali de' corpi la porosità e la divisibilità.

Stati d'aggregazione dei corpi.

§ 6. La varia energia, colla quale si tengono tra loro sistemate le molecole de' diversi corpi, è chiamata *coerenza*, e fa luogo ad una generale classificazione di essi con riguardo al particolare *stato d'aggregazione* delle molecole stesse. Sotto questo punto di vista i corpi ponno anzitutto distinguersi in solidi e fluidi.

Dicesi *solido* ogni corpo che offre una particolar sua figura ed oppone una resistenza sensibile al modificare la figura stessa, ossia al mutare la postura relativa delle sue parti.

Dicesi *fluido* ogn'altro corpo, le cui parti non oppongono sensibile resistenza allo scorrere delle une su le altre per semplice gravità, tanto che non presenta figura propria, ma assume quella dei recipienti solidi, entro cui vien posto.

I fluidi poi si suddividono in liquidi ed aeriformi.

Diconsi *liquidi* quei fluidi le cui parti, benché scorrevoli, si mostrano sensibilmente coerenti, cioè oppongono una distinta resistenza a quanto opera per aumentare la distanza relativa delle loro molecole, ed il cui volume apparente non varia sensibilmente col variare di poco la pressione su di essi esercitata.

Diconsi invece *aeriformi* que' fluidi, le cui molecole non manifestano alcuna sensibile coerenza, talché il loro volume è notevolmente variabile col variare della pressione esercitata dai corpi che li limitano.

I liquidi nel passare da uno ad altro vaso, ove non muti la temperatura, non mutano sensibilmente di volume, e se la capacità del recipiente è maggiore del volume loro, ne occupano solo le parti inferiori, terminando con una superficie loro propria nella parte superiore, che non è a contatto colle pareti.

Invece i fluidi aeriformi, introdotti nei recipienti, anche in iscarsa quantità, si diffondono di subito, ove non contrasti altra pressione, ad investirne tutto il vano; mostrando così una tendenza delle loro molecole a discostarsi reciprocamente, grazie a taluni movimenti che sono loro proprii e che variano colla loro temperatura, come diremo innanzi. Codesta tendenza è chiamata *forza espansiva*; ed è per essa che i fluidi aeriformi esercitano una pressione su le pareti dei recipienti, indipendente dalla gravità (cioè anche in direzione opposta ad essa); laddove i fluidi liquidi premono sulle pareti dei recipienti solo in opera della propria gravità. Laonde gli aeriformi si denominano anche *fluidi espansibili*.

Le ora accennate distinzioni non sono assolute, poichè sonvi corpi le cui qualità fanno un graduale passaggio dall'una all'altra classe

di corpi. Così vi sono solidi, che diconsi *moll*i, i quali oppongono una resistenza appena sensibile all'essere modificati nella figura: sebbene le loro parti non scivolino facilmente per opera di sola gravità, come accade nei liquidi. E sonvi alcuni liquidi, detti *viscosi*, le cui parti manifestano una sensibile resistenza allo scivolare le une su le altre per gravità. Infine sonvi fluidi aeriformi, chiamati *vapori*, i quali, in certe condizioni, manifestano una distinta forza aggregativa, col passare d'un tratto dallo stato aeriforme al liquido, per poco che si aumenti su di essi la pressione, o se ne diminuisca la temperatura.

Gravità, elasticità, variabilità di volume.

§ 7. Già dalle cose or dette si rileva come la gravità e la elasticità sieno due proprietà continuamente in esercizio in tutte le forme di corpi. Di esse dovrem dire particolarmente più innanzi.

Intanto è necessario avvertire che tutti i corpi terrestri si mostrano *gravi*, sia col muoversi con data legge di velocità e dirigendosi verso il centro della terra, quando non siano impediti da altri corpi, sia coll'esercitare una pressione od una trazione sui corpi che contrastino loro il detto movimento. La grandezza dello sforzo che ciascun corpo esercita così per gravità è chiamata *peso*.

Nei solidi la *elasticità* si manifesta colla resistenza che essi oppongono al modificare la loro figura od il loro volume, ossia colla tendenza al conservare l'una e l'altro.

Aumentando gradatamente la forza modificatrice, riesce pur gradatamente più distinta la modificazione prodotta e più sentita la resistenza spiegata dal corpo modificato. Rallentando però man mano l'azione modificatrice sino a cessare, il corpo modificato manifesta ancora la sua elasticità col ricondursi grado a grado alle condizioni di figura e di volume, in cui era dapprima.

Un solido può essere modificato da uno stiramento, da una compressione, da una flessione o da una torsione; e da qui altrettante forme della sua elasticità, come si dichiarerà nel Cap. VI.

I liquidi si mostrano elastici per compressione, in quanto reagiscono alle forze comprimenti, riducendosi ad un minor volume, e ritornano poi al pristino volume, col togliere la forza premente.

I fluidi espansibili manifestano la loro elasticità coll'aumentare la loro forza espansiva, mano mano che per esterna pressione vengano ridotti sotto un minor volume, e reciprocamente, collo scemare di forza espansiva, quando, per diminuzione nella pressione esterna, vanno crescendo di volume.

§ 8. Però il volume dei corpi, qualunque sia il loro stato di ag-

gregazione, varia altresì col variare della loro temperatura. Se non che una stessa variazione nella temperatura produce nei liquidi una variazione di volume più rilevante che nei solidi, e negli aeriformi ancor più grande che nei liquidi. Dove è maggiore la coerenza in fra le parti, minore è la espansione o la contrazione corrispondente ad un dato aumento o decremento di temperatura e ad un dato volume iniziale del corpo.

Accade anzi che, col mutare della temperatura, muta talora nei corpi anche lo stato fisico.

Per aumento di calore un solido può liquefarsi, un liquido può vaporizzare, e collo scemare del calore un fluido aeriforme si riduce liquido, ed un liquido si solidifica.

In generale, i corpi assumono uno stato aeriforme sotto le temperature elevate che ci è dato produrre, ed assumono invece lo stato solido alle più basse temperature possibili; e molti di essi offrono lo stato liquido per temperature intermedie a quelle per le quali si tengono solidi od aeriformi.

E siccome le forze prementi, applicate ai corpi normalmente alla loro superficie, operano nel senso stesso di una diminuzione di temperatura, così, facendo cospirare le pressioni coi raffreddamenti, si ottengono più facilmente la liquefazione degli aeriformi e la solidificazione dei liquidi.

Pertanto tra le proprietà generali dei corpi può annoverarsi la *variabilità di volume*, indicando con essa la suscettibilità loro a scemare od a crescere di volume col variare delle forze prementi o distraenti: ma questa proprietà va collegata colla elasticità dei corpi stessi.

Dal fin qui detto si riconosce che *il volume apparente di un corpo ha segnatamente relazione colla coerenza relativa delle sue molecole, colla sua temperatura e colla energia delle esterne forze prementi.*

Prove della porosità fisica.

§ 9. I menzionati fenomeni generali di elasticità basterebbero da soli a provare la *discontinuità* (§ 5) de' corpi, meglio di tant' altri fenomeni che soglionsi citare a prova della loro porosità (a).

(a) Le consuete sperienze dell'aria e del mercurio che si fanno filtrare attraverso i legni mal rispondono all'intento: confondonsi allora le grandi lacune ed i grandi meati, che stanno nel tessuto solido dei corpi organizzati e che ponno rendersi visibili a mezzo delle lenti, cogli spazietti intermolecolari, sussistenti anche ne' solidi più compatti e che non mai ponno scorgersi, anche coi migliori microscopj. La prima può dirsi porosità di struttura e l'altra porosità di costituzione fisica.

Infatti se tutti i corpi si riducono a minor volume per azioni comprimenti, se tutti si contraggono coll'abbassarne la temperatura, e se noi non possiamo trovare un limite al loro raffreddamento, dobbiam convenire che le loro molecole stanno sempre discoste tra loro, si da poter essere avvicinate più e più le une all'altre. In breve, senza la porosità, non potrebbesi intendere nè la comprimibilità meccanica dei corpi, nè la contraibilità per menomata temperatura.

Tuttavia anche alcuni fatti di compenetrazione de' corpi giovano a confermare il loro stato di discontinuità. Così tutti i solidi, anche i più densi e compatti, come i metalli e le pietre dure, posti entro acqua sotto la campana d'una macchina pneumatica, lasciano sgorgare aria dal loro interno in notevole volume, rarefacendo l'aria che vi sta sotto.

Molti liquidi di diversa natura, mescolati tra loro, offrono, dopo la miscela, un volume che è minore della somma dei due volumi dei liquidi mescolati. Così fanno distintamente acqua ed alcoole, acqua ed acido solforico, acqua pura ed acqua salata, ecc. versandoli prima cautamente in una provetta l'un sovra l'altro (badando che il più denso sia posto in basso) sino ad empirla, indi turandola e capovolgendola più volte. Nell'atto della diminuzione di volume si rileva anche uno svolgimento dei gas atmosferici dall'interno dei liquidi. e nel più de' casi un aumento di temperatura, come si dirà altrove.

Estrema divisibilità dei corpi.

§ 10. E quanto alla *disgregabilità* (§ 5) essa non ha bisogno di essere provata, bastando il citare i fatti di fusione e soluzione dei solidi, di vaporabilità dei liquidi, e di decomposizione dei composti di qualunque stato e natura. Piuttosto interessa farsi un concetto della estrema sottigliezza delle parti minime dei corpi.

Al qual proposito però basteranno pochi esempi.

Tutti i corpi solidi, ancorchè di complessa costituzione chimica, come taluni sali organici, quando vengono disciolti in opportuno liquido, vi si riducono in parti così tenui, che non riescono visibili, pur col sussidio del più forte microscopio, capace di rendere ben distinta una dimensione d'un diecimillesimo di millimetro.

Quasi tutti i liquidi, e segnatamente gli olj fissi e volatili, gli eteri, gli alcoli, le benzine, gli acidi, posti in gocce minutissime sulla superficie orizzontale dell'acqua o del mercurio, contenuti in ampio piatto, vi si espandono rapidamente, sino a rivestirne tutta la superficie libera, formandovi lamine tanto sottili da riflettere i colori dell'iride (a) e da ridursi poi anco invisibili, come accade per la bolla

(a) A suo luogo si dirà in particolare delle condizioni di questi fenomeni di espansione delle gocce liquide.

d'acqua saponata, la quale offre una macchia nera quando sta per rompersi, dove più s'è assottigliata. La grossezza di questo velo nero od incolore può ritenersi di circa un centomillesimo di millimetro. Ebbene tutti gli accennati liquidi nelle parti più assottigliate ed incolore delle dette lamine si riducono intorno a questo grado di grossezza. Una goccia, pesante appena un milligrammo, può ricoprire di sé una superficie di circa dieci decimetri quadrati. Dunque i predetti liquidi hanno particelle il cui diametro è certamente minore d'un centomillesimo di millimetro; epperò nel peso di un milligrammo se ne contengono più che mille bilioni (a). Ma ancora codeste particelle dei detti liquidi composti, risultano dall'aggregazione di molte molecole de' loro componenti; massime negli olj essenziali, costituiti da parecchie decine di molecole elementari.

Anzi quest'essenze ci porgono in tale esperienza un'altra più notevole prova della estrema attenuazione delle loro parti. Poichè le dette goccioline, dopo essersi espanse, si volatilizzano rapidamente, tanto da investire coi loro vapori tutta l'aria d'una camera anche spaziosa e da rendersi sensibilissime all'odorato. Così accade colle essenze di menta, di garofani, di cedro, ecc. Eppure su la superficie dell'acqua, dove una di siffatte goccioline siasi espansa, rimane per alcun tempo un deposito, il quale fa ostacolo o rallenta la espansione di altre gocce simili che ivi si pongano. Dunque non si esagera dicendo che in quel milligrammo di essenza le molecole costitutive si contano a trilioni.

Nell'alto di una boccia, contenente sul fondo un po' di mercurio caldo, si sostenga una foglietta d'oro, pesata dianzi; in non molto tempo la sua superficie si farà tutta bianchiccia pei vapori di mercurio che vi si depositeranno, benchè il peso di essa non sarà sensibilmente aumentato. Dunque anche un grandissimo numero di molecole d'un metallo sì denso qual è il mercurio non dà un peso apprezzabile. Similmente, disponendo sovra solfo fuso una laminetta d'argento, se ne vedrà in breve annerita la superficie per la formazione del solfuro d'argento: ed ancora non si potrà rilevare un aumento di peso.

In alcune infusioni di sostanze organiche in atto di corruzione, si veggono coi più forti ingrandimenti de' migliori microscopj alcuni esseri organizzati, il cui complessivo volume è appena discernibile: taluni hanno un diametro di meno che due diecimillesimi di millimetro e nondimeno sono costituiti da differenti tessuti ed elementi istologici, e questi da molti e diversi elementi chimici!

(a) Per bilione intendiamo, come devesi, un milione di volte un milione, e non mica mille milioni, come usano i Francesi.

Possiamo dunque concludere che *le parti minime de' corpi sono punti fisicamente indiscernibili.*

Sistema metrico.

§ 11. Chiamasi *misurazione* quell'operazione mediante la quale si determina quante volte una data estensione contiene quell'altra individuata che si convenne di assumere per *unità* del medesimo genere di estensioni.

Si danno tre generi di estensioni: *lineari*, *superficiali* e *cubiche* o di volume, e quindi si dovranno fissare altrettante unità di misura. E similmente per la determinazione dei pesi relativi dei corpi e dei valori relativi delle cose, convien stabilire un dato peso da assumersi per unità *ponderale*, ed un dato valore da prendersi quale unità di *moneta*.

Nel sistema metrico decimale francese si volle assumere per unità lineare una lunghezza equivalente alla diecimilionesima parte della lunghezza d'un quarto d'un meridiano terrestre, e la si denominò *metro*, dal greco *μετρον* misura. Ma la lunghezza corrispondente a questa definizione non può dirsi ancora determinata con precisione, poichè attese le sensibili ineguaglianze dei meridiani terrestri, converrebbe assumere per base la lunghezza d'un quadrante elittico, corrispondente al quarto d'un meridiano *medio*, e la diecimilionesima parte di siffatta lunghezza costituirebbe il *metro teorico*. Laddove il *metro legale*, adottato dagli scienziati e dai governi di molti Stati d'Europa, quantunque sia una lunghezza che molto si approssima a quella del metro teorico, ne è un tal poco minore, poichè il metro teorico corrisponde prossimamente a metri legali 1,00009.

Per unità delle misure superficiali si assunse l'area del quadrato avente il lato di un metro lineare, e quest'area venne detta *metro quadrato*.

Per unità delle misure di volume si prese il volume del cubo, il cui lato risponda ad un metro lineare, e questo volume si chiamò *metro cubo*, od anche *stero*, dal greco *στερος* solido.

Quale unità delle estensioni superficiali, come per la misura dei campi e delle estensioni geografiche, si pose l'area del quadrato avente il lato di dieci metri, e quest'area fu detta *aro* dal latino *arare*, coltivare.

Per unità delle misure di capacità pei liquidi e per i corpi minuti, come i grani, le farine, i semi ecc., si adottò una capacità equivalente al volume d'un cubo avente per lato un decimo di metro, e siffatta capacità è detta *litro*, da *λίτρον* libbra.

Quale unità delle misure dei pesi si fissò di assumere il peso de-

terminato nel vuoto della millesima parte di un litro di acqua distillata, presa alla temperatura corrispondente al massimo della sua densità, cioè a 4° C.: e questo peso si chiamò *grammo*, da γράμμα che esprimeva il peso più piccolo adoperato dai Greci, cioè la ventiquattresima parte d'un'oncia (a).

E per unità di misura dei valori si stabilì il valore di un pezzo di argento, legato con un decimo di rame, e pesante 5 grammi, chiamato un *franco*.

I multipli delle diverse unità si formano col premettere al nome d'ognuna di esse le particelle *deca*, *etto*, *chilo*, *miria*, derivate dalle voci greche δέκα (dieci), ἑκατὼν (cento), κίλος (mille), μύριος (diecimila). Invece premettendovi le voci *deci*, *centi*, *milli*, tolte dal latino, si indicano i summultipli corrispondenti alle parti decime, centesime, millesime di ciascheduna unità.

§ 12. All'uopo di misurare colla maggior possibile approssimazione le dimensioni dei corpi, tenendo conto anche delle più piccole frazioni dell'unità di misura, i fisici adoperano diversi strumenti, quali sono il nonio, il compasso di grossezza, la vite micrometrica, lo sferometro ed il catetometro. Diremo soltanto dei più importanti.

Nonio.

§ 13. Il *nonio* è uno strumento molto semplice, ma ingegnoso, che serve a misurare una data dimensione lineare con una approssimazione così grande, quanto è fisicamente possibile. Prese nome dal suo inventore, Nonius: chi lo attribuisce al francese Vernier, lo chiama *verniero*. Esso consta di un piccolo regolo che s'adatta all'asta delle misure lineari, in modo da poter scorrere a dolce sfregamento lungo il lato di essa che porta segnate le divisioni più piccole dell'unità lineare (per es. i millimetri).

La lunghezza del regoletto corrisponde a quella di un numero n di divisioni dell'asta, e sia tal lunghezza in esso divisa invece in un numero $n + 1$ di parti tra loro eguali; perciò la lunghezza di una di queste ultime parti sarà espressa da $\frac{n}{n+1}$ rispetto alla lunghezza

(a) Benchè le unità di misura delle lunghezze e dei pesi stabilite come si disse sopra, non corrispondano alla definizione teorica che se ne voleva dare, la commissione internazionale, riunitasi a Parigi nel 1872, decise di tener ferma come unità di misura lineare la lunghezza a 0° dell'asta in platino stata depositata negli Archivi dell'Accademia di Parigi sotto il nome di *metro*, e per unità ponderale il peso nel vuoto del pezzo in platino ivi stesso depositato sotto il nome di *chilogrammo*. Ed i tipi derivati da questi archetipi si decise di costruirli con una lega di 0, 9 di platino e di 0, 1 d'iridio.

di una divisione dell'asta: e la differenza tra queste due lunghezze

sarà quindi:
$$\frac{n}{n} - \frac{n}{n+1} = \frac{1}{n+1}.$$

Ora, volendosi determinare con precisione la lunghezza d'un verga MN, la si disponga parallelamente all'asta, facendo coincidere un estremo dell'una con uno dell'altra, e si faccia scorrere il nonio, sicchè l'estremo anteriore di esso coincida coll'estremo posteriore della verga. Allora ponno darsi tre casi:

1.^o Lo zero del nonio coincide con una divisione dell'asta, ed allora la lunghezza della verga è data direttamente dal numero delle divisioni che stanno tra lo zero dell'asta e quello del nonio.

2.^o Lo zero del nonio si trova compreso tra due consecutive divisioni dell'asta, e vi è una divisione del nonio che coincide con altra dell'asta e che tiene il posto m dallo zero dello stesso nonio. In tal caso la lunghezza MN è data ancora, come nel caso prece-

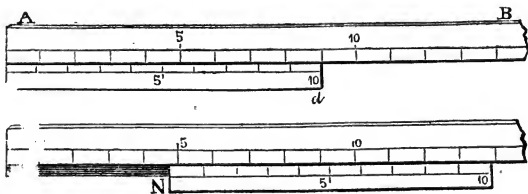


Fig. 1.

dente, dal numero delle parti dell'asta che precedono lo zero del nonio, aggiuntovi m volte la differenza tra le minori divisioni della

scala e del nonio, cioè $\frac{m}{n+1}$, chè tale sarà la distanza dello zero

del nonio dall'anteriore divisione dell'asta.

3.^o Se ancora lo zero del nonio non coincide con alcuna divisione della scala e se nel nonio sonvi due divisioni occupanti i posti m ed $m+1$, la 1.^a delle quali riesce posteriore ad una della scala e l'altra anteriore alla successiva, a distanze rispettivamente eguali tra loro allora la quantità da aggiungersi al numero di divisioni anteriori allo zero del nonio, ossia la distanza da questo all'ultima di tali

divisioni, corrisponderà ad $\frac{m+m+1}{2} = m + \frac{1}{2}$ di volte la surripetuta

differenza tra le due divisioni, cioè $(m + \frac{1}{2}) \frac{1}{n+1}$.

Da ciò è facile dedurre che, adoperando il nonio a dovere, il maggior errore che si può commettere in una misura corrisponde ad

$\frac{1}{2} \cdot \frac{1}{n+1}$ di una delle minori divisioni dell'asta, e che questo errore sarà tanto più piccolo quanto maggiore sarà n .

Ad esempio se $n = 9$ millim., la differenza tra una divisione del nonio ed una dell'asta, cioè $\frac{1}{n+1}$, sarà $\frac{1}{10}$ e l'errore massimo $\frac{1}{20}$ di millimetro. Se $n = 19$ mm., la differenza sarà $\frac{1}{20}$ e l'errore $\frac{1}{40}$ di millimetro; e così via.

Sferometro.

§ 14. Lo *sferometro* serve a misurare piccole grossezze d'alcuni corpi. Una vite micrometrica, a piccolo passo, porta alla sua testa un disco, concentrico e perpendicolare al di lei asse, la cui circonferenza è divisa in un numero n di parti eguali fra loro; la madrevite è portata da tre piedi, inferiormente acuminati e corrispondenti ai vertici d'un triangolo equilatero, rispetto al quale deve pur essere perpendicolare l'asse della vite. Ad uno di questi piedi è assata

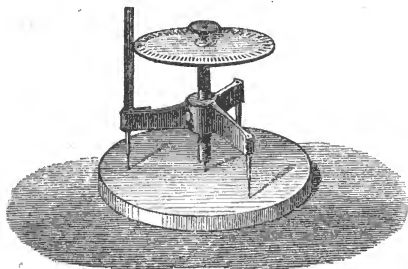


Fig. 2.

un'asta, che porta segnate sullo spigolo tangente la circonferenza suddetta le divisioni corrispondenti al passo della vite (distanza fra due consecutive spire della vite, misurata parallelamente all'asse), la cui misura indicheremo con p . Sia posto lo stromento su la faccia di un disco di vetro, diligentemente lavorata a piano. Anche l'estremo inferiore della vite è acuminato.

È evidente che colle divisioni segnate sulla testa della vite e quelle portate dall'asta si costituisce una specie di nonio; poichè, per un intero giro della testa, la vite s'abbasserà di una quantità corrispondente al passo p ; e girandola invece per una sola delle divi-

sioni della testa, la vite s'abbasserà d'una frazione $\frac{p}{n}$, e girandola

per m divisioni della testa, s'abbasserà di una quantità $m\frac{p}{n}$, sempre riferita al passo, preso per unità lineare.

Per misurare la grossezza d'un oggetto, posto lo stromento sul piano, si abbassi gradatamente la vite sinchè la punta di essa tocchi il piano, pur stando a contatto di questo le tre punte del sostegno; leggasi allora su l'asta la divisione più prossima inferiormente al disco graduato e su questo la divisione più prossima all'asta fissa.

Per semplicità supponiamo, come converrebbe che fosse per una esatta costruzione dello stromento, che in tal posizione della vite si leggesse lo zero sull'asta e lo zero sulla testa. Ora, alzata convenientemente la vite, si collochi fra il piano e la punta della vite la lamina da misurare, e si abbassi ancora la vite sinchè la punta tocchi appena la faccia superiore della lamina stessa. La lettura della divisione dell'asta inferiore alla testa e della divisione della testa rispondente all'asta, contate partendo dallo zero rispettivo, darà il numero intero di volte e la frazione di volta che bisognerà prendere il passo p per avere la grossezza del corpo. Ed in ogni caso questa misura s'avrà dalla differenza tra queste due letture e le corrispondenti quando la punta della vite toccava il piano.

E qui la misura sarà tanto più approssimata quanto più piccolo sarà p e grande n . Ad esempio, se $p=1$ mill. $n=100$, si avrà:

$$\frac{p}{n} = \frac{1}{100} \text{ di mill.}$$

pel moto corrispondente ad una sola divisione della testa, ed il massimo errore che si commetterà nella misura sarà, analogamente a quanto si disse pel nonio:

$$\frac{p}{2n} = \frac{1}{200} \text{ di mill.}$$

Questo stromento può servire anche a valutare la curvatura della superficie delle lenti.

Catetometro.

§ 15. Il *Catetometro* consiste principalmente in un'asta rigida, lunga più d'un metro, suscettiva di ruotare attorno al suo asse di figura,

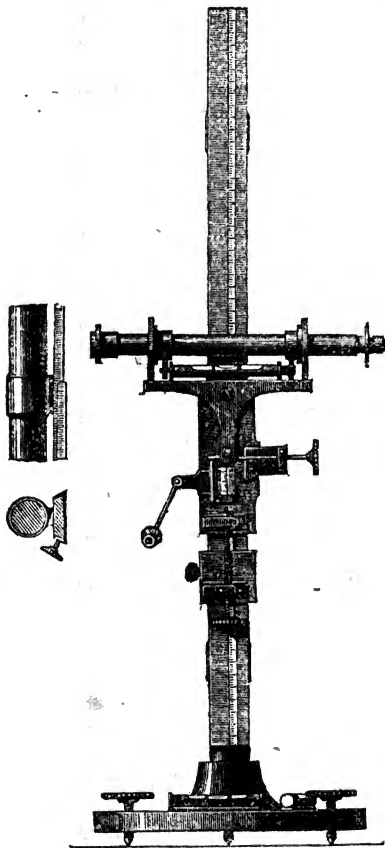


Fig 3.

e portante una scala, divisa in millimetri in tutta la sua lunghezza e parallela al detto asse, il quale può ridursi verticale mercè due li-

vellette a bolla d'aria e tre viti d'orizzontamento applicate alla sua base. Su quest'asta può scorrere a dolce sfregamento una robusta fascia portante un cannocchiale, il cui asse ottico vien ridotto perpendicolare al detto asse di rotazione dell'asta, mentre il piano orizzontale passante per esso risponde allo zero di un nonio sistemato col cannocchiale stesso e scorrevole, col suo lembo diviso di contro alle divisioni della scala, per rilevarne le frazioni. La fascia è divisa in due parti, collegate tra loro soltanto da una vite micrometrica: una di queste parti, la inferiore, è munita di una vite di pressione, la cui mercè la si può fissare in conveniente posizione su l'asta.

Volendo adoperarlo, per rilevare la distanza verticale di due dati punti, si dispone anzitutto verticale l'asse di rotazione, indi si fa scorrere la fascia del cannocchiale e ruotar l'asta così che, traguardando per esso si scorga il punto che è il più elevato dei due, e quivi si serra la parte inferiore, e colla detta vite micrometrica si producono piccolissimi spostamenti nel cannocchiale, tanto che il punto di mira risulti giustamente sul prolungamento dell'asse ottico del cannocchiale stesso, il quale asse è determinato dalla retta visuale passante per un piccol pertugio che sta innanzi alla lente oculare e pel punto d'intersezione di due fili sottilissimi e tra loro perpendicolari, situati poco innanzi alla lente obbiettiva. In tal posizione leggesi, mediante apposita lente, su la scala e sul nonio, l'altezza dello zero del nonio rispetto al piano orizzontale passante per lo zero della scala. Indi, rallentando la vite di pressione, facendo scorrere dolcemente in giù la fascia, ed, all'uopo, anche ruotare l'asta, si riduce il cannocchiale in posizione di potervi traguardare il punto di mira più basso, e quivi, fissata ancora la parte inferiore della fascia, si opera colla vite micrometrica, come dianzi, per ridurre a giusto segno l'asse del cannocchiale, e si legge poi la nuova posizione dello zero del nonio. È chiaro che la differenza tra le due letture così fatte darà l'altezza del piano orizzontale passante pel primo punto di mira sul piano orizzontale che passa pel secondo.

Mobilità, e moti attuali de' corpi.

§ 16. Comunemente chiamasi *mobilità* quella proprietà generale dei corpi per cui, con opportuna forza motrice, ogni corpo può essere ridotto in istato di moto, se anche è in quiete; e dicesi *moto* quell'atto di un corpo per cui in istanti successivi di tempo occupa luoghi diversi nello spazio.

Convien però avvertire che in fatto, i corpi non solo sono mobili, ma nessuno mai può dirsi in istato di quiete assoluta, perciocchè tutti quanti i corpi dell'universo sono assiduamente in istato di

moto: anzi in ciascun d'essi, ad un tempo, si verificano parecchi movimenti, taluni intestini e tal'altri totali.

Prendendo da prima a considerare i corpi terrestri, ben si vede che per ogni corpo alla superficie del nostro pianeta le molecole esser devono in atto di continui spostamenti, a cagione delle continue variazioni nella temperatura e nella pressione dell'involgente atmosfera, e più ancora per gli smuovimenti provocati nell'aria e nell'acqua dalle notevoli differenze che sempre sussistono tra la temperatura e la pressione delle varie regioni della superficie terrestre. Ed abbiamo già accennato, ma vedremo meglio innanzi, come ancor quando la temperatura non muti per un corpo, le sue molecole esser devono in preda a que' moti intestini che sono la condizione fondamentale della temperatura stessa e della loro elasticità.

Quanto poi ai movimenti totali de' corpi terrestri ci basterà notare la grandezza di quelli che sono comuni a tutti. La terra compie una rotazione sul proprio asse in un giorno sidereo, corrispondente a 23.^h56'.4'', ossia ad 86164 minuti secondi di tempo medio (a). Però pei vari punti della superficie terrestre riesce varia colla latitudine e coll'altitudine la lunghezza dell'arco descritto nell'unità di tempo in opera di detto moto rotatorio. All'equatore, dov'è massimo, ed a livello del mare, ogni punto percorrerà 465m in un minuto secondo, ritenuto il raggio equatoriale di metri 6377398. Alla latitudine di 45°, e pure a livello del mare, si ha tuttavia una velocità di circa un terzo di chilometro (metri 329). Solo pei punti fisici coincidenti coll'asse geometrico di rotazione può dirsi nulla codesta velocità; sebbene essi pure ruotino attorno al rispettivo centro di figura.

Un altro e ben più rilevante movimento offre la terra, rivolgendosi attorno al sole. Posto il raggio medio dell'orbita terrestre 24047 raggi equatoriali, e ritenuta la durata dell'anno sidereo (tempo impiegato dal centro della terra a descrivere intera la sua orbita) in 365.^d6.^h9'.11'', risultano percorsi, per media, in un minuto secondo circa 30 chilometri e mezzo. Questa velocità, che si verifica con egual

(a) La base dell'unità di tempo è il *giorno sidereo*, cioè la durata della rotazione terrestre, dedotta dal tempo impiegato da una qualunque stella circumpolare a descrivere intero il proprio circolo parallelo. Però per unità di tempo si assume comunemente il minuto secondo di tempo medio, dedotto dalla durata d'un giorno solare medio. Un *giorno solare vero* corrisponde al tempo che decorre tra due consecutivi passaggi del centro del sole per un dato meridiano, dalla stessa banda rispetto all'asse di rotazione. Ma questa durata è continuamente variabile da uno ad altro giorno successivo, ora in più ed ora in meno. Il valor medio delle singole durate di tutti i giorni solari veri d'un intero anno costituisce il *giorno solare medio*, che divideasi in 24 ore, ossia in 86400 minuti secondi di tempo medio.

misura per tutti i punti della massa terrestre (poichè l'asse di rotazione del pianeta mantiene una costante inclinazione sul piano dell'orbita), è così rilevante che difficilmente ce ne possiamo formare un concetto. Valga il dire che essa è circa 50 volte quella d'una palla di cannone delle maggiori portate, e che un convoglio celere su una ferrovia impiegherebbe circa mezz'ora a percorrere il cammino che la terra fa in un minuto secondo.

Analoghi moti di rotazione e di rivoluzione si verificano negli altri pianeti, ma con velocità differenti. La maggior velocità di rotazione si riconosce in Giove, poichè il raggio di questo pianeta è circa undici volte ed un quarto (11,225) quello della terra e la sua rotazione si compie in poco meno di dieci ore (9^h.55'); cosicchè un punto del circuito equatoriale di Giove descrive in 1" attorno all'asse un arco la cui lunghezza è circa 27 volte quello suindicato per un analogo punto terrestre.

Quanto alla velocità di traslazione nelle rispettive orbite, essa va decrescendo coll'aumentare della distanza d'ogni pianeta dal sole: cosicchè varia da chilometri 48,36 (per Mercurio) a chil. 1,77 (per Nettuno). Ma pur quest'ultima non lascia d'essere una velocità ancora ragguardevole, massime per riguardo alla gran mole del rispettivo pianeta.

I satelliti poi d'alcuni pianeti, nel mentre partecipano al moto rivolutivo di questi, presentano anche un moto di traslazione rispetto ai pianeti stessi. La luna corre, per medio, nella propria orbita circa un chilometro (met. 1018) in un secondo.

Oltre questi movimenti ben accertati, sonvi negli astri del sistema solare altri movimenti assai probabili. Uno di essi può ormai dirsi dimostrato, benchè non se ne conosca la precisa grandezza. Il sole con tutto il suo corteo di pianeti, di satelliti, di asteroidi, ecc. va trasferendosi negli spazii celesti verso un punto di quel grande ammasso di stelle del quale fa parte il sole stesso. Secondo alcuni dati, questo moto sarebbe circa quattro volte più veloce del moto rivolutivo della terra. Fatto è che altri soli del detto ammasso offrono moti proprii, e certamente ragguardevoli. Così Sirio e Capra, che sono due tra le più brillanti stelle, sembrano muoversi con velocità rispettivamente corrispondenti a 36 ed a 48 chilometri; le quali velocità appaiono sorprendenti, pensando alla sterminata mole delle dette due stelle, le quali hanno un volume indubbiamente maggiore, e di molto, di quello del nostro sole. Fra le stelle visibili anche ad occhio nudo sonvi già molti gruppi di due, di tre o più stelle (chiamati stelle multiple), ove si mostrano evidenti i moti rivolutivi di alcuni di esse attorno all'altre, secondo le leggi newtoniane che si esporranno avanti.

Ma è poi probabile che anco le innumerevoli stelle costituenti la

grande nebula, che diciamo via lattea, formando nel loro insieme un sistema, siano dotate d'un generale movimento rispetto al comun centro di gravità. E così potrà accadere anche per le stelle, che formano le tante altre nebulæ che ora si sanno distinguere negli spazii celesti.

Dunque *non vi è corpo in natura che non sia di continuo dotato di parecchi e rapidi moti*: epperò la *quiete assoluta* è una pura astrazione della nostra mente. Solo può darsi *quiete relativa* per corpi, dotati di moti comuni e così commisurati tra loro che ne risultino immutate le loro posizioni relative.

E che poi anche la massa degli astri sia in preda a continui moti intestini, ne fanno fede le continue mutazioni osservate non solo nell'aspetto de' pianeti, ma ancora del sole e delle stelle, chiamate periodiche o temporarie, nelle quali oggidì la spettroscopia seppe riconoscere le condizioni di ingenti atti termo-chimici, che ne sommovono abbastanza profondamente le parti superficiali.

Leggi d' inerzia.

§ 17. Nella meccanica, studiandosi in particolare le varie nature di movimento e le loro leggi, indipendentemente dalle condizioni fisiche di loro produzione, si può considerare la materia come assolutamente *inerte*, cioè incapace di darsi da sé il moto, o di modificare il moto ad essa impresso da esterne forze. Ma abbiamo già detto (§ 3) che, fisicamente parlando, noi vediamo esser ne' corpi sempre connesse materia e forza, come due elementi inscindibili d'uno stesso ente.

Ora aggiungeremo che *un corpo in quiete non può ricevere movimento da un altro, se non in opera delle forze sue proprie, cioè in virtù de' moti intestini che già sono in lui, e pei quali esso, alla sua volta, modifica lo stato di moto dell'altro.*

Lo stato di assoluta inerzia o passività vien supposto ne' corpi per mera astrazione della nostra mente, sendo esso contraddittorio al fatto della loro assidua operosità, cioè delle stesse loro proprietà generali, per le quali, anche nei corpi inorganizzati, si danno molti e svariati movimenti, che possono dirsi spontanei, in quanto sono determinati dalle loro energie costitutive, quali sono la gravitazione molecolare, la gravità, il calore, l'affinità, la polarità elettrica, la polarità magnetica, ecc., secondo che si dirà innanzi per ciascuna di queste energie.

Importa però notare fin d'ora che nel concetto d'inerzia si riassumono alcuni fatti generali, che servono di fondamento alla dinamica, e che si devono ritenere come puri risultati dell'osservazione, quantunque alcuni fisici abbian preteso dimostrarli come verità di ragione.

1.° *Un corpo sotto l'azione di un'unica forza motrice istanta-*

nea si muove in linea retta, e con velocità costante per un tempo indefinito. Questo principio di fatto venne posto in chiaro da Keplero, considerando la conservazione del moto traslatorio nei pianeti. Ancor quando su d'un corpo cessino d'agire le forze motrici, che dianzi lo sollecitavano, esso proseguirà a muoversi secondo una retta, tangente alla traiettoria dal medesimo dianzi descritta, e con una velocità costante, eguale a quella che esso possiedevasi lorché le forze cessarono.

Vero è che, sperimentando, noi vediamo rallentarsi gradatamente, sino ad estinguersi; i moti stati impressi ai corpi da date forze; ma ciò accade per le resistenze de' mezzi entro i quali si muovono, e peggli attriti contro altri corpi sui quali s'appoggiano: in quanto che il loro moto vien trasmettendosi alle molecole dei mezzi ed alle parti dei corpi da essi successivamente rimosse e toccate. Quindi gli effetti delle forze stesse non si distruggono, ma si trasmettono da corpo a corpo.

Di questo fatto, della indefinita conservazione del moto una volta impresso ne' corpi, si ha chiaro esempio nella perseveranza dei movimenti propri degli astri, i quali si muovono in uno spazio, dov'è solo quella materia diradatissima od imponderabile, chiamata *etere*, che serve alla trasmissione a distanza dei moti termo-luminosi degli astri, come si vedrà a suo luogo.

E se vediamo che i corpi messi in moto da un'unica forza istantanea deviano dalla linea retta, secondo la quale eran diretti al principio del moto, egli è perchè tai corpi risentono contemporaneamente l'azione di altre forze, che operano su di essi di continuo, come la gravità e la gravitazione.

2.^o *Ogni qualvolta un corpo è mosso da un altro in un modo qualunque, esso ha, in pari tempo, reagito su di questo, in senso contrario, togliendogli una quantità di moto eguale a quella da esso ricevuta.* E similmente tutte le azioni che si esercitano tra i corpi sono reciproche. È questo il fatto generale messo in rilievo da Newton, sotto nome di eguaglianza e reciprocità fra l'azione e la reazione, e che noi verificheremo man mano che esamineremo i diversi atti fisici de' corpi.

3.^o *Ogni moto che sia esattamente comune a tutte le parti d'un corpo, oppure a tutti i corpi formanti un sistema qualunque, non altera punto i moti particolari di queste parti, o di questi corpi gli uni rispetto agli altri,* moti che continuano a verificarsi, come se l'insieme del sistema fosse immobile. Questa legge, messa innanzi da Galileo per appoggiare il sistema copernicano, prese nome di principio dell'indipendente coesistenza dei moti, come si dirà poco innanzi.

Potrebbeasi pertanto definire l'inerzia per l'attitudine che ha ogni corpo a risentire tutte le azioni che gli altri corpi dispiegano contemporaneamente e successivamente su di esso, opponendo a ciascuna di tali azioni una equivalente reazione in senso contrario, e tendendo a conservare indefinitamente l'effetto risultante dall'insieme di tali azioni e reazioni: se non che mano mano si elidono in esso (o meglio si riducono allo stato potenziale o tensivo) gli effetti di quelle azioni che gli imprimono eguali velocità in opposte direzioni.

La fisica moderna seppe poi dare un significato più esplicito della inerzia dei corpi, proclamando come assioma i seguenti principii: che nessun movimento può essere creato dal nulla, e che un moto attuale non può in niun modo venir annullato, ma può solo esser modificato nella forma, o ridotto allo stato potenziale. Questi assiomi si riassumono nel principio della *conservazione delle energie*.

§ 18. Le esterne forze motrici, d'ordinario, operano direttamente solo su una parte d'un corpo; ma la loro azione, in virtù delle forze interne del corpo stesso, tende a distribuirsi equabilmente su tutte le molecole. Però a compiersi siffatta interna comunicazione del moto si richiede talora una durata di tempo abbastanza sensibile, attesa la discontinuità delle molecole stesse. D'altra parte è evidente che una forza motrice non potrà imprimere ad un corpo, dianzi in quiete, una determinata velocità, senza che questo abbia a passarsene, come già avvertiva Galileo, per tutti i gradi intermedi di velocità, epperò senza impiegare un certo tempo.

Anche la comunicazione del moto fra i corpi si verifica in virtù della loro comprimibilità e della loro elasticità, e quindi grazie allo suscitarsi delle loro forze interne. Ogni corpo che colla propria resistenza impedisca l'azione di una forza, ha pur sempre alcun poco ceduto alla forza stessa, sino ad aver acquistata una forza d'elaterio capace di equilibrarla. Similmente nella comunicazione del moto per urto fra due corpi, elastici o molli che sieno, le modificazioni che conseguono nelle rispettive loro velocità o nelle loro temperature sono determinate dalle loro forze molecolari. Però questo argomento sarà meglio svolto avanti, trattando delle leggi dell'urto fra corpi.

In qualunque caso le cause del moto, ossia le forze, sono inerenti alla materia de' corpi. Anzi non può svolgersi una forza senza il conflitto di due corpi, od almeno di due molecole.

CAPO II.

NOZIONI DI DINAMICA

§ 19. S'è già detto che la supposizione di una materia inerte può adoperarsi senza inconvenienti nello stabilire le leggi astratte della meccanica, appunto perchè in questa scienza, non tenendosi conto del modo di "produzione de' movimenti", è lecito sostituire una forza motrice qualsiasi ad altra di diversa origine, purché valga ad imprimere ad un dato corpo la stessa velocità. Epperò si ponno considerare i corpi siccome sollecitati soltanto da forze motrici esterne, mentre alle energie interne, realmente ad essi inerenti, è dato surrogare forze esteriori, equivalenti quanto agli effetti. Ma, giova il ripeterlo, codeste supposizioni, se sono lecite nella meccanica, non sono accettabili in fisica.

Or bene in meccanica suolsi dire *forza* tutto che è capace di imprimere moto ad un corpo, oppure di modificare in un corpo il suo stato di moto: quindi l'intensità relativa delle forze motrici si desume dalla grandezza dei movimenti da esse prodotti od estinti in dati corpi, i quali però si denominano *mobili*, in quanto si considera in essi soltanto la mobilità e l'inerzia.

In ciascun movimento poi si distingue la natura di esso, la figura della via percorsa da un punto del mobile, la lunghezza del cammino percorso, il tempo trascorso in tal atto, e la massa del mobile.

Quanto alla *natura* loro, i movimenti si distinguono anzitutto in uniformi e variabili.

La linea, che comprende i contigui punti dello spazio, occupati ne' successivi istanti dal punto mobile, chiamasi la sua *traiettoria*: però, secondo che questa linea sarà retta o curva, il *moto* potrà dirsi *rettilineo* o *curvilineo*.

Se il moto è rettilineo, l'andamento della retta stessa percorsa dal punto mobile ne segna la *direzione*. Nel moto curvilineo, la direzione muta in modo continuo; però per ciascun punto della curva

la direzione del moto si ritiene indicata dalla retta tangente tal curva nel punto stesso.

Inoltre ogni via potendo essere percorsa in due versi, l'uno opposto all'altro, per individuare un movimento bisogna notarne non solo la direzione, ma anche il *verso*. Algebricamente si ponno distinguere due moti effettuanti secondo una stessa direzione, ma contrarii, attribuendo all'uno il segno positivo ed all'altro il negativo.

La lunghezza della traiettoria percorsa dal punto mobile, espressa in unità delle estensioni lineari, suolsi dire, per brevità, *spazio percorso*.

E la durata del tempo decorso nel percorrere tale cammino, espressa in unità di tempo, dicesi *tempo trascorso*.

Moto uniforme.

§ 20. Si dice che un punto materiale od un mobile è in atto di *moto uniforme*, quando in tempi successivi d'eguale durata percorre spazi di eguale lunghezza: il che val quanto dire *quando gli spazi percorsi in tempi differenti saranno direttamente proporzionali a codesti singoli tempi*. E però un moto uniforme può distinguersi da un altro, solo in quanto può differire la misura degli spazi percorsi in ogni singolo caso in una stessa durata di tempo.

Chiamasi *velocità* d'un mobile il rapporto fra lo spazio percorso ed il tempo decorso nel percorrerlo, misurato ciascuno colla corrispondente unità di misura, ossia lo spazio da esso percorso nell'unità di tempo. Perciò due moti uniformi si differenziano per le rispettive velocità.

In generale, ove per un mobile in atto di moto uniforme si conosca la velocità v , si conoscerà altresì lo spazio s , che esso percorrerà in un qualsiasi assegnato tempo t , mercè la semplicissima relazione :

$$(1) \quad s = v t,$$

la quale non fa che esprimere algebricamente le anzidette definizioni e convenzioni, e serve a determinare uno qualunque dei tre suoi elementi, dati essendo gli altri due. Così, ad esempio, in un dato moto uniforme la velocità si trae dalla :

$$v = \frac{s}{t},$$

e ponendo s' lo spazio percorso nel tempo $t=1$, si avrà :

$$v = s';$$

le quali due formole rispondono alle due definizioni di velocità date sopra.

Quest'è la più semplice natura di movimento, quella che, ammesso

il principio della conservazione od indestruttibilità de' movimenti, dovrebbero verificare ogni volta che un mobile, il quale abbia ricevuto un impulso da una forza motrice, venga poi abbandonato a sè in uno spazio non resistente punto, e senza provare alcuna esterna influenza perturbatrice nel suo movimento.

Una forza motrice, la quale, in simil modo, avendo operato su d'un mobile, per un tempo anche brevissimo, cessi poi d'agire, oppure abbandoni il mobile a sè stesso, vien detta *forza istantanea*.

*Misura delle forze motrici istantanee:
massa e densità dei corpi.*

§ 21. *Due forze istantanee son dette eguali fra loro, ossia di eguale grandezza od intensità, lorchè, operando separatamente su di uno stesso mobile, gli imprime un'eguale velocità. In generale, le intensità relative di due forze istantanee si ritengono direttamente proporzionali alle velocità impresses da ognuna di esse ad un medesimo mobile.*

E quando poi si sottopongono successivamente all'azione di una stessa forza motrice istantanea due diversi corpi, si dice che questi hanno masse eguali se acquistano eguali velocità, e masse diverse in caso contrario: anzi allora le loro *masse relative* si tengono inversamente proporzionali alle velocità acquistate da ciascun corpo in opera della stessa forza motrice.

Pertanto, se due forze istantanee, agendo su due corpi di diversa massa, imprime loro velocità eguali, si potrà ancor dire che le intensità di tali forze sono direttamente proporzionali alle masse stesse.

Ed, in generale, avendosi due forze motrici, le cui intensità relative siano indicate con F ed F' , ed operanti su due corpi, le cui masse relative siano m ed m' , le velocità v e v' che questi acquisteranno saranno tali da soddisfare alla:

$$(2) \quad F: F' = mv: m'v'.$$

Ponendo poi $F' = 1$, $m' = 1$ e $v' = 1$, cioè assumendo per unità di misura delle forze motrici istantanee, quella che vale ad imprimere l'unità di velocità ad un corpo avente la massa corrispondente all'unità di misura delle masse relative de' corpi, si avrà:

$$(3) \quad F = mv,$$

cioè l'intensità relativa d'una forza motrice istantanea è data dal prodotto della massa relativa del corpo mosso per la velocità impressagli. Questo prodotto suolsi chiamare quantità di moto impresso dalla forza motrice a tal corpo.

Se nella (2) poniamo $m' = m$, ossia se supponiamo che uno stesso corpo sia successivamente sollecitato al moto da due diverse forze motrici, notando in ciascuno caso le velocità da esso acquistate, si avrà:

$$(4) \quad m = \frac{F}{v} = \frac{F'}{v'},$$

dalla quale si ritrae che la *massa d'un corpo esprime quella sua condizione fisica per cui riesce costante il rapporto fra le intensità delle forze motrici che separatamente lo determinano al moto e la velocità che ognuna di esse gli imprime*. Epperò la massa d'un corpo è manifestazione ed insieme misura di ciò che in esso diciamo *inerzia* (§ 17).

§ 22. Un corpo è detto *omogeneo* quando le sue molecole sono tutte della stessa natura, ed uniformemente distribuite nell'interno della sua superficie apparente, cioè situate ad eguali distanze le une rispetto alle altre ad esse circostanti. Ora, dividendo un corpo omogeneo in diverse parti, e sottoponendo queste all'azione d'una data forza istantanea, si osserva acquistare velocità eguali quelle parti che hanno un eguale volume apparente, mentre quelle che hanno differente volume acquistano velocità inversamente proporzionali al rispettivo volume. E poichè nelle dette diverse parti dello stesso corpo omogeneo, sotto volumi eguali, si comprenderà un egual numero di molecole, e sotto volumi diversi staranno numeri di molecole direttamente proporzionali ai volumi stessi, si potrà anche dire essere le masse di quelle varie parti direttamente proporzionali ai loro volumi, e quindi alle quantità di materia (numeri di molecole omogenee) comprese in ciascun volume.

Prendendo invece volumi eguali di due corpi, le cui molecole siano di diversa natura, ma uniformemente distribuite in ciascuno di essi, benchè con distanze mutue differenti ne' due corpi, si potrà ritenere che la quantità di materia, onde sono essi costituiti, sieno direttamente proporzionali alle loro masse relative, e quindi — per ciò che s'è notato poco sopra — essere inversamente proporzionali alle velocità che acquistano sotto l'azione d'una stessa forza istantanea. Allora que' corpi son detti avere una diversa densità, intendendosi per *densità assoluta d'un corpo omogeneo la massa relativa corrispondente alla sua unità di volume*.

Da ciò si trae che, per un corpo omogeneo, la massa sarà direttamente proporzionale ed alla sua densità ed al suo volume, e che per due corpi eterogenei, a struttura però uniforme, sussisterà la relazione:

$$(5) \quad m : m' = dv : d'v',$$

indicando con m ed m' le masse relative, con d e d' le densità e con v e v' i volumi de' due corpi. Ponendo $v' = 1$, sarà $m' = d'$, ed assumendo $d' = 1$, s'avrà:

$$(6) \quad m = vd,$$

ossia la massa di un corpo omogeneo è data dal prodotto della sua densità relativa pel suo volume, chiamandosi densità relativa d'un corpo il rapporto tra la sua densità e quella di tal corpo, la cui densità assoluta è presa per unità di misura delle densità relative.

Moto uniformemente variabile.

§ 23. Un moto è detto *vario* o *variabile*, quando differiscono tra loro gli spazi percorsi dal mobile in eguali tempi successivi, ossia quando la velocità del mobile riesce variabile. Ed un mobile è detto in atto di *moto uniformemente* od *equabilmente vario*, quando le variazioni nella velocità del mobile sono proporzionali ai tempi; però il moto stesso dicesi *uniformemente accelerato*, od *uniformemente ritardato*, secondo che la velocità cresce, oppur scema in modo continuo e di quantità eguali in eguali tempi, ed allora chiamasi *accelerazione* o *ritardazione* di tal moto l'incremento od il decremento nella velocità, corrispondente all'unità di tempo.

Perciò, ponendo c la velocità già acquistata dal mobile nell'istante, da cui s'incomincia a contare il tempo, f la variazione della velocità nell'unità di tempo, e v la velocità che avrà il mobile stesso alla fine d'un dato tempo t , dovrà essere:

$$(7) \quad v = c \pm ft,$$

valendo il segno $+$ pel caso che f esprima un'accelerazione, ed il $-$ pel caso della ritardazione.

§ 24. Prendendo a considerare più particolarmente il caso di un moto uniformemente accelerato, e supponendo $c = 0$, ossia ponendo che il mobile parta dalla quiete quando s'incomincia a contare il tempo t , la precedente si riduce alla:

$$(8) \quad v = ft,$$

la quale appunto esprime che la velocità cresce proporzionalmente al tempo in cui dura il moto, siccome vuole la predetta definizione di questa natura di moto. In tal caso la velocità v può dirsi la velocità acquistata dal mobile del tempo t .

Quanto allo spazio s che il mobile percorrerà di moto uniformemente accelerato nello stesso tempo t è agevole trovarne l'espressione mercé il calcolo integrale, che insegna a risalire al valore d'una quantità, dietro la cognizione della legge colla quale essa è

generata. Ma lo si può anche desumere dalla premessa definizione, mercè la seguente considerazione:

S'immagini diviso il tempo t in un numero dispari di istanti, d'egual durata tra loro, ma così brevi che siano estremamente piccoli gl'incrementi di velocità nella durata d'uno di essi. La velocità v'' che avrà il mobile nell'istante medio, cioè quella che esso avrà acquistata alla fine del tempo $\frac{t}{2}$, sarà data secondo la (8) dalla:

$$(9) \quad v'' = f \frac{t}{2};$$

e le velocità v' e v''' che esso avrà in due istanti, uno anteriore e l'altro posteriore al medio, ed egualmente discosti da questo, saranno tali per cui:

$$v'' - v' = v''' - v'', \text{ ossia } v' + v''' = 2v''.$$

E questa proprietà dovendo sussistere per tutte le coppie di istanti egualmente discosti dall'istante medio, si può dire la v'' sarà il valore medio di tutti i valori che la velocità del mobile andrà acquistando ne' successivi istanti che costituiscono nel loro insieme il tempo t : epperò si potrà ritenere che lo spazio s , percorso di moto uniformemente accelerato, dovrà eguagliare quello che sarebbe percorso dal mobile stesso, ove si movesse di moto uniforme colla velocità v'' per tutto il tempo t ; ossia si potrà ritenere $s = v'' t$, e quindi, grazie alla (9), s'avrà:

$$(10) \quad s = \frac{f}{2} t^2,$$

la quale indica che *in un moto uniformemente accelerato, gli spazii percorsi in tempi diversi sono direttamente proporzionali ai quadrati dei tempi stessi*, contando però ciascun spazio e ciascun tempo dal principiare del moto.

Se nella (10) si pone $t = 1$, si ha $2 s' = f$, cioè lo spazio s' percorso nella prima unità di tempo è la metà dell'accelerazione. Però, anche combinando la (8) colla (10) in modo da eliminare la f , si ha:

$$2 s = vt,$$

ossia *lo spazio percorso con moto accelerato in un dato tempo è la metà di quello che il mobile percorrerebbe nello stesso tempo, muovendosi di moto uniforme e colla velocità acquistata nel primo caso alla fine del tempo.*

§ 25. Pel moto uniformemente ritardato, ritenuta la velocità che il mobile aveva quando cominciò ad agire su di esso la forza ritard-

datrice, e posto s lo spazio che percorrerà nel tempo t contato da quell'istante, si avrà, analogamente a quanto si osservò sopra:

$$(11) \quad s = ct - \frac{f}{2} t^2,$$

dalla quale è facile dedurre le varie enunciazioni o leggi di codesto moto, siccome si dirà innanzi discorrendo del moto dei gravi cadenti.

Misura delle forze motrici continue.

§ 26. S'è detto sopra che ogni moto vario si attribuisce ad una forza continua. Però un moto uniformemente vario richiede altresì che codesta forza abbia un'intensità costante affinché siano costanti le variazioni di velocità in eguali tempi (§ 23). Quindi si dicono *forze continue e costanti* quelle che producono un moto variato uniformemente, e la variazione nella velocità correlativa all'unità di tempo (ossia l'accelerazione o la ritardazione) riesce misura dell'intensità della forza motrice (acceleratrice o ritardatrice) operante su l'unità di massa del mobile.

Analogamente poi a quanto si disse sopra (§ 21) per le forze istantanee, le intensità F ed F' di due forze continue saranno proporzionali alla quantità di moto che ciascuna di esse varrà a determinare in un mobile nell'unità di tempo; cioè si avrà:

$$F : F' = fm : f'm',$$

poste rispettivamente f ed f' , m ed m' la variazione nella velocità e la massa del mobile su cui ciascuna avrà operato. E, ponendo $F' = 1$ quando sia $m' = 1$ ed $f' = 1$, ottiensì:

$$(12) \quad F = fm,$$

analoga alla (3), cioè la grandezza di una forza motrice è data dal prodotto dell'accelerazione da essa determinata in un corpo nell'unità di tempo per la massa del corpo stesso.

Pertanto, anco per le forze continue, operanti separatamente su di uno stesso mobile, sarà costante il rapporto fra la intensità della forza motrice e la variazione nella velocità da essa indottavi, ed ancora questo rapporto è misura della massa relativa di tal mobile. Quindi si potrà generalizzare la definizione della massa d'un corpo data sopra (§ 22), ritenendo che le forze motrici possono essere tanto istantanee quanto continue, purché le velocità da esse date o tolte al corpo siano riferite all'unità di tempo.

Indipendente coesistenza di più moti in un corpo.

§ 27. Questa proprietà dei corpi di mostrare in ogni loro atto dinamico una massa determinata (proprietà che è, come abbiám detto, l'unica espressione scientifica della loro inerzia) è altresì la condizione fisica di un altro fatto generale, di somma importanza per le applicazioni, e che perciò può dirsi *un principio*, quello cioè della indipendente coesistenza di più movimenti in un medesimo corpo (§ 17, 3.^o).

Come un corpo si mostra indifferente alla varia natura ed intensità delle forze motrici, coll'assumere in ogni caso e nell'unità di tempo una velocità direttamente proporzionale alla intensità delle forze stesse; così ancora un corpo può manifestare la sua indifferenza circa al modo di operare di più forze motrici, in quanto riesce integra l'azione di ciascuna di esse, sia che queste agiscano contemporaneamente, oppur successivamente su quel corpo. Pertanto il moto dovuto ad una qualunque di tali forze si verifica in egual modo come se il corpo fosse del resto in quiete.

Ma, secondo che si osservò addietro, i movimenti sono atti effettivi dei corpi inerenti alle loro proprietà costitutive, mentre le forze sono poste solo siccome astrazioni della mente nostra. Converrà quindi considerare dapprima i movimenti, quali semplici fenomeni dei corpi, anziché effetti di forze motrici ad essi applicate.

Già nelle leggi suesposte del movimento uniformemente variato appar manifesta la indipendenza de'vari moti sussistenti in un mobile, giacché la velocità che ad esso si aggiunge o si toglie in ciascuna unità di tempo non altera punto il moto che era nel corpo innanzi il principiare di tal tempo, siccome vien espresso colla formola:

$$(7) \quad v = c \pm ft.$$

Però codeste parziali accelerazioni o ritardazioni qui si suppongono prodursi sempre nella stessa direzione. Invece il succennato principio della indipendenza di movimenti è più generale, comprendendo pure i casi, in cui i singoli moti abbiano differenti direzioni.

Ond'è che i vari moti impressi ad un punto si sogliono rappresentare per mezzo di rette, le cui direzioni corrispondano a quelle di siffatti movimenti e le cui lunghezze siano direttamente proporzionali agli spazi che si percorrerebbero dal mobile nell'unità di tempo in opera di ciascuno di essi.

§ 28. Or ecco come può enunciarsi il detto principio dell'indipendenza dei movimenti. *Quando parecchi movimenti sono impressi con-*

temporaneamente ad un dato corpo, questo si muove così da trovarsi, in ogni istante, nel luogo stesso in cui troverebbesi qualora ciascuno di quei movimenti si verificasse in tal corpo separatamente e successivamente, nella propria direzione e colla propria velocità.

A schiarire questo principio, pongasi ad esempio, che il punto o sia rappresentativo del centro di massa del mobile, e che le rette oa ed ob siano rispettivamente rappresentatrici di due movimenti uniformi, impressi contemporaneamente al detto punto, ritenendo cioè, che oa ed ob siano proporzionali alle velocità di tali movimenti. Ora, supponendo che il punto o fosse dapprima sollecitato solo dal moto

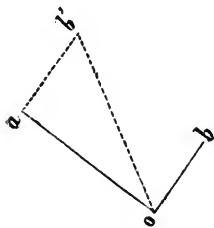


Fig. 4.

oa , esso, alla fine dell'unità di tempo, dovrebbe trovarsi in a , avendo percorsa la retta oa , e supponendo poi che allora gli venisse impresso il moto rappresentato da ob , esso, ancora nell'unità di tempo, percorrerebbe la ab' , condotta parallela ed eguale alla ob : ossia verrebbe alla fine di tal tempo a trovarsi in b' per l'opera successiva e separata di que' due movimenti. Ora quest'ultimo risultato dovrà pur verificarsi quando i due movimenti si verificchino contemporaneamente, cioè ancora il punto o dovrà trovarsi in b' alla fine del-

l'unità di tempo: fuorchè, durante questo tempo, il punto stesso avrà percorsa la retta ob' , atteso che la direzione del suo movimento non può non essere una sola in ciascun istante.

Ora la retta ob' può dirsi rappresentativa del movimento composto, equivalente ai due dati movimenti, e suolsi denominare il *movimento risultante* di questi, i quali, alla loro volta, son detti *moti componenti* rispetto a quello. Ma d'altra parte la retta ob' corrisponde al terzo lato del triangolo $oa'b'$, i cui due lati oa ed ab' sono rappresentativi di due moti contemporaneamente impressi ad un punto.

Questa proprietà dinamica sussiste per i lati di qualsivoglia triangolo, poichè sempre accade che un qualunque lato di esso è rappresentativo di un movimento equivalente a quelli rappresentati dagli altri due lati: ossia *un lato d'un triangolo può sempre rappresentare il moto risultante di due moti componenti, rappresentati dagli altri lati.*

Similmente, se al punto o saranno contemporaneamente impressi i movimenti uniformi rappresentati dalle rette oa , ob , oc , ed od , il principio della indipendenza dei movimenti conduce alla seguente costruzione geometrica. Partendo dall'estremo di una qualunque delle rette date, si tracci una spezzata, i cui lati siano rispettivamente

paralleli ed eguali alle altre rette rappresentatrici degli altri movimenti: il punto mobile, alla fine nell'unità di tempo, si troverà nell'estremo libero di tale spezzata, avendo percorsa la retta congiungente codesto estremo libero col punto di partenza, ossia la retta che chiude la detta spezzata, formandone un poligono. Così, se prendiamo il punto a , estremo della oa , per condurre successivamente le ab' , $b'c'$, $c'd'$ parallele ed eguali alle ob , oc , ed od , s'avrà in d' il punto d'arrivo del mobile, tanto nel caso che i moti si verificassero in modo successivo e separato, quanto che si verificassero contemporaneamente; se non che, in quest'ultimo caso, il mobile percorrerà la od' . Questa retta rappresenta dunque il moto risultante dei quattro indicati moti componenti.

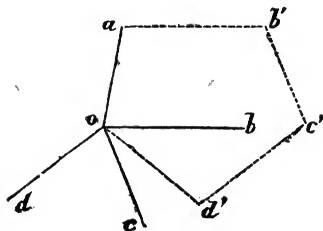


Fig. 5.

In generale *un lato qualunque d'un qualsivoglia poligono sarà rappresentativo di un moto equivalente all'insieme dei movimenti rappresentati dagli altri suoi lati.*

E si noti che l'accennata costruzione inchiede anche i casi, nei quali i movimenti dati non essendo tutti in uno stesso piano, il poligono che si otterrà sarà gobbo, e quelli ancora in cui due o più movimenti avendo una stessa direzione, si andranno aggiungendo, oppur sottraendo (secondo che saranno in uno stesso verso od in verso opposto) le une di seguito all'altre le rette rappresentatrici di cotesti movimenti.

Osserviamo poi che, se per avventura i moti dati fossero tali che costruendo la detta spezzata, l'estremo di essa venisse a coincidere col punto rappresentativo del mobile, ciò significherebbe che quei movimenti, quando fossero contemporanei, non produrrebbero alcun sensibile spostamento sul mobile: ed allora si dice che codesti movimenti si elidono scambievolmente tra loro, ovvero che si fanno equilibrio tra loro.

Ad esempio, essendo il punto o sollecitato dai tre movimenti $o a$, ob , oc , ove questi fossero successivi e separati, esso percorrerebbe

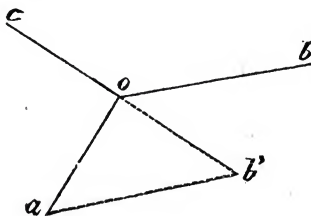


Fig. 6.

i lati oa , ab' , $b'o$, del triangolo oab' ritornando al punto di partenza: ma se i movimenti stessi sono contemporanei, il mobile rimarrà in quiete nel punto o .

Similmente, se al punto o fossero impressi contemporaneamente i 4 moti rappresentati dalle oa , ob , oc ed od , poichè, costruendo la spezzata $ab'c'o$, l'estremo della retta guidata da c' parallela ed

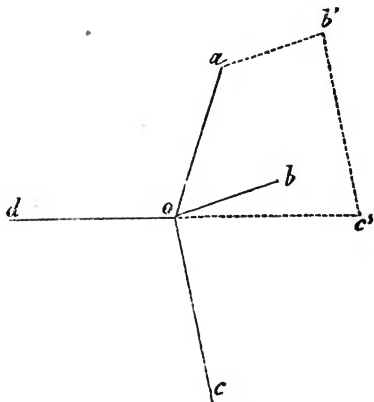


Fig. 7.

eguale ad od viene a cadere in o , vuol dire che i moti stessi si faranno mutuamente equilibrio.

Pertanto si potrà pur dire che *i lati d'un triangolo sono rappresentativi di tre movimenti che si fanno tra loro equilibrio per uno stesso punto*, e che *i lati d'un poligono compiuto sono del pari rappresentativi di altrettanti movimenti che, impressi insieme ad un punto, si faranno tra loro equilibrio*.

E reciprocamente, avendosi diversi movimenti uniformi, di direzione e velocità quali si vogliano, impressi ad uno stesso punto, si potrà sempre determinare la direzione e la velocità di un altro moto, che, impresso insieme coi dati allo stesso punto, produrrà l'equilibrio, col costruire la spezzata i cui lati siano paralleli ed eguali ai movimenti già impressi; poichè la retta congiungente gli estremi di tale spezzata, esprimendo la grandezza e la direzione del moto risultante od equivalente a quelli, per avere l'equilibrio, basterà im-

primere al punto stesso, un movimento eguale e contrario a codesto moto risultante, il quale sarà rappresentato prendendo sul prolungamento di quella retta una parte eguale alla retta stessa.

Giova notare che codesto principio della composizione dei movimenti, messo in chiaro primamente da Galileo, viene comunemente denominato, benchè poco appropriatamente, il principio del *parallelogrammo dei movimenti*. Siffatta denominazione è tratta dal caso particolare, sovra considerato, della composizione di due soli movimenti; poichè in quel caso, essendo date le oa ed ob rappresentatrici di due soli moti impressi al punto o , il punto b' tanto può determinarsi col guidare la ab' parallela ed eguale alla ob come noi abbiamo fatto sopra, quanto col guidare per

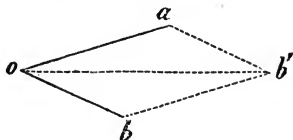


Fig. 8.

a la parallela alla ob e per b la parallela alla oa , ossia compiendo sulle oa ed ob il parallelogrammo $oab'b$; allora la diagonale ob' sarà rappresentativa del moto risultante od equivalente ai moti componenti, rappresentati da due lati contigui del parallelogrammo stesso. E quando poi i movimenti sono più di due, seguendo quest'altra norma, è necessario andar costruendo successivamente un altro parallelogrammo, del quale uno dei lati è la diagonale del parallelogrammo precedente e l'altro lato la retta rappresentativa di un terzo movimento, chè guidando poi la diagonale di questo altro parallelogrammo si avrà la rappresentatrice della risultante di tre movimenti; e così di seguito per avere di mano in mano la risultante anche degli altri movimenti. Or è evidente che codesto procedimento è più complesso che quello suesposto del poligono, il quale offre altresì il vantaggio di esprimere più direttamente il principio, sul quale è fondata la composizione dei movimenti.

§ 29. Dobbiamo pur notare che il principio della indipendenza dei movimenti è per sé più significativo che non sia la co-

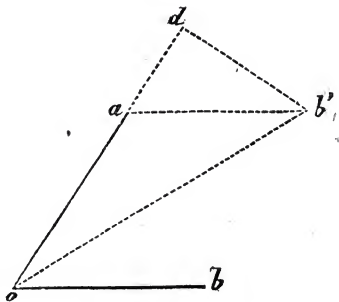


Fig. 9.

struzione geometrica ora accennata. Infatti nel caso, in cui il poligono si chiude, questa indica che pel punto sollecitato non vi è

movimento di trasporto. E ciò può bastare per la meccanica. Ma per la fisica non va così. Poichè il principio della indipendenza de' movimenti si collega con quello ancor più generale, della conservazione delle energie, il quale, come già dicemmo (§ 23), significa che i movimenti, come non si ponno creare, così non si ponno nemmeno annullare. Epperò, nei casi in cui i movimenti impressi ad un corpo si elidono in tutto od in parte, accade nell'interno del corpo tale una modificazione nel suo stato elastico, che determina una produzione di calore, commisurata alla energia meccanica che appare perduta, siccome vedremo meglio fra poco, parlando dell'urto fra corpi.

§ 30. Volendo trovare una espressione algebrica o trigonometrica del moto risultante in funzione dei moti componenti, si osservi in primo luogo che, essendo dati i moti oa ed ob , il triangolo oab' , rappresentando co' suoi tre lati i moti componenti ed il moto risultante ab' , che indicheremo rispettivamente con p , q ed r , si avrà la proporzione:

$$p : q : r = \text{sen } ab'o : \text{sen } aob' : \text{sen } oab'$$

e poichè $\text{sen } ab'o = \text{sen } b'ob$, e $\text{sen } oab' = \text{sen } aob$, s'avrà pure:

$$(13) \quad p : q : r = \text{sen } \hat{q}r : \text{sen } \hat{p}r : \text{sen } \hat{p}q,$$

ossia la grandezza di ciascuno dei tre movimenti sarà direttamente proporzionale al seno dell'angolo compreso dalle direzioni degli altri due.

Ed in secondo luogo, si osservi che, tracciando la $b'd$ perpendicolare alla direzione oa , s'avranno due triangoli rettangoli adb' ed odb' , il primo dei quali dà:

$$b'd = b'a \text{ sen } aob, \text{ ed } ad = b'a \cos aob,$$

ossia:

$$b'd = q \text{ sen } \hat{p}q \text{ ed } ad = q \cos \hat{p}q;$$

e l'altro dà:

$$ob^2 = (oa + ad)^2 + b'd^2,$$

ossia:

$$r^2 = (p + q \cos \hat{p}q)^2 + q^2 \text{ sen}^2 \hat{p}q,$$

ed anche:

$$(14) \quad r^2 = p^2 + q^2 + 2pq \cos \hat{p}q.$$

Mercè le (13) e (14) si potranno determinare la direzione e la grandezza del movimento composto, date essendo le grandezze dei moti componenti e l'angolo compreso dalle loro direzioni.

§ 31. Sin qui abbiamo supposto che i movimenti impressi al punto mobile fossero tutti uniformi. Ma il principio dell'indipendenza dei movimenti è generale, ed applicabile anche ai moti variati; epperò

saranno estensibili ad essi le considerazioni ed applicazioni fatte sopra, in base al detto principio, pei moti uniformi, purchè le rette che li rappresentano siano prese con lunghezze proporzionali agli spazj percorsi dal mobile per ciascuno di essi in eguali tempi.

Siano, ad esempio, impressi al punto o due movimenti uniformemente accelerati, secondo le direzioni ox ed oy , e siano oa ed ob gli spazj che nell'unità di tempo, il mobile percorrerebbe per l'opera separata di ciascuno. Condotta la ac parallela ed eguale alla ob , si potrà dire ancora che, per l'opera simultanea di que' due movimenti, il mobile dovrà trovarsi in c trascorsa l'unità di tempo, e che nel frattempo avrà percorsa la retta oc . Infatti, si prendano su gli spazj oa e ob le parti oa' , oa'' , oa''' , ecc. ed ob' , ob'' , ob''' ecc., le quali fossero rispettivamente percorse dal punto o in eguali tempetti ove fosse sollecitato separatamente dal movimento per ox , o da quello per oy ; indi dai punti a , a' , a'' , ecc. si guidino le $a'c'$, $a''c''$, $a'''c'''$, ecc. parallele alla oy , e rispettivamente eguali alle ob' , ob'' , ob''' , ecc. Essendo questi moti ambedue uniformemente accelerati, le dette parti, corse in tempetti eguali, avranno rispettivamente fra loro lo stesso rapporto che è fra gli spazj oa ed ob ; cioè staranno le proporzioni:

$$oa' : ob' = oa'' : ob'' = \text{ecc.} = oa : ob.$$

Dal che si rileva che i punti c' , c'' , c''' , ecc., nei quali il mobile dovrebbe trovarsi al finire di ciascuno di quei tempetti, dovranno tutti cadere su la ac , poichè i triangoli $oa'c'$, $oa''c''$, $oa'''c'''$, ecc. devono essere tutti simili al triangolo oac , per costruzione.

Le stesse considerazioni valgono pel caso delle composizioni di più che due moti uniformemente accelerati, costruendo la spezzata od il poligono, nei modi indicati pei moti uniformi. E reciprocamente, ad un dato moto uniformemente accelerato si potranno sostituire due o più moti analoghi e ad esso equivalenti nel loro insieme, rappresentabili dai lati d'un triangolo o d'un poligono, de' quali un lato rappresenti il moto proposto.

§ 32. Le cose fin qui esposte per la composizione e risoluzione dei moti uniformi ed uniformemente accelerati sono pur applicabili alle

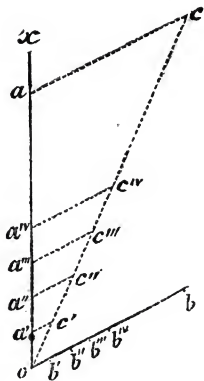


Fig. 10.

accelerazioni corrispondenti a codesti moti; poichè queste, essendo in ogni caso proporzionali ai rispettivi movimenti, saranno pur rappresentabili in direzione ed in grandezza dalle rette rappresentative di quei moti. E, siccome s'è detto sopra che le velocità, o le accelerazioni, impresse ad uno stesso mobile da diverse forze motrici, istantanee, oppur continue, sono direttamente proporzionali alle intensità di codeste forze, così saranno pur applicabili alle forze motrici operanti contemporaneamente su d'un mobile, le suindicate deduzioni del principio della indipendenza dei movimenti. Anzi i procedimenti accennati per la composizione e risoluzione dei moti concorrenti si indicano, comunemente, sotto nome di *composizione o risoluzione delle forze* (a).

§ 33. Un moto curvilineo è sempre il risultato di almeno due movimenti. Il caso più semplice è dato da un moto uniforme impresso ad un punto, il quale poi da una forza continua è tratto verso un altro punto fisso. Tale è il caso di un corpo obbligato a ruotare attorno un centro, poichè la inerzia provocherà in esso una tendenza a continuare il precedente moto, serbandone immutata la direzione, e quindi ancora provocherà una reazione (detta *forza centrifuga*) contro la forza che la richiama verso il centro della rotazione.

Il principio delle velocità virtuali.

§ 34. Le forze motrici, essendo misurate dalle quantità di moto da esse determinate nei corpi, saranno anche direttamente proporzionali alle velocità da esse provocate in un dato corpo, poichè la massa di questo diviene un fattore comune a tutti i prodotti esprimenti le quantità di moto. Epperò tali forze saranno rappresentabili da rette proporzionali a queste velocità e parallele alle direzioni dei rispettivi movimenti.

Laonde anche la condizione d'equilibrio per più forze motrici applicate ad uno stesso punto mobile deve corrispondere a quella trovata sopra per l'equilibrio tra più movimenti impressi ad uno stesso punto: cioè si dovrà ottenere un poligono chiuso, costruendo la spez-

(a) Abbiám creduto meglio di trattare dapprima dei movimenti, perchè di questi abbiamo nozioni più concrete che non se ne possan dare per le forze; e perchè il principio della indipendenza trova allora una più retta e chiara applicazione. Di più nella nozione di forza motrice non si può far astrazione dalla massa del corpo motore e da quella del corpo mosso; mentre il concetto di un movimento — almeno per quanto concerne la direzione e la velocità — può anche porsi indipendente da quello della massa del mobile. Ad ogni modo le considerazioni sulle forze motrici non ponno darsi che quali deduzioni di uno studio fatto sui movimenti da esse provocati.

zati i cui lati siano paralleli, eguali e diretti nello stesso verso delle rette rappresentatrici delle forze date. Questa proprietà geometrica può tradursi in un'altra di più facile applicazione.

Siano oa, ob, oc, od le rette rappresentatrici delle forze appli-

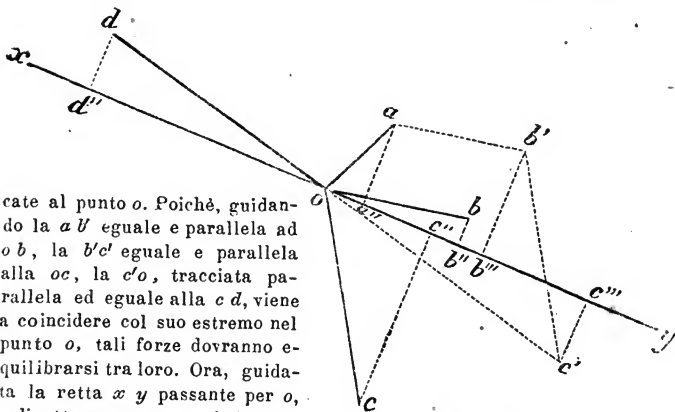


Fig. 11.

cate al punto o . Poichè, guidando la $a'b'$ eguale e parallela ad ob , la $b'c'$ eguale e parallela alla oc , la $c'd'$, tracciata parallela ed eguale alla cd , viene a coincidere col suo estremo nel punto o , tali forze dovranno equilibrarsi tra loro. Ora, guidata la retta xy passante per o , e diretta comunque, si facciano su di essa le proiezioni (a''), tanto delle rette rappresentatrici delle forze, quanto del poligono.

Osserviamo dapprima che la somma algebrica delle proiezioni dei lati del poligono riesce nulla, ritenendo negative quelle che sono dirette in verso opposto all'altre che si tengono positive, avendosi:

$$oa'' + a''b'' = oc''' - c'''b'''$$

epperò:

$$oa'' + a''b''' - oc''' + c'''b''' = 0.$$

D'altronde

$$ob'' = a''b''; \quad oc'' = c'''b''; \quad od'' = oc''',$$

siccome proiezioni di rette, rispettivamente parallele ed eguali, su di una stessa retta; perciò:

$$(15) \quad oa'' + ob'' + oc'' - od'' = 0;$$

ossia, se più forze motrici applicate ad un punto si fanno tra loro

(a) Si chiama *proiezione* d'una retta su di un'altra la parte di quest'altra intercetta dalle perpendicolari guidate su di essa dagli estremi della prima. Però le proiezioni di due rette, parallele ed eguali tra loro, su di una terza saranno pure eguali fra di esse.

equilibrio, dev'essere nulla la somma algebrica delle proiezioni delle rette che le rappresentano in direzione ed in grandezza su di una stessa retta passante per tal punto, ritenendo positive le proiezioni che cadono da una banda del punto stesso, e negative quelle che cadono dalla opposta banda.

Da questo principio si trae un'importante applicazione. Al punto o , supposto già in equilibrio per le tre forze oa , ob , oc , sia impressa una velocità nella direzione xy , valevole a fargli percorrere nell'unità di tempo lo spazio ov (Fig. 12). Dall'estremo a di una delle forze si guidi la perpendicolare alla direzione di tale velocità, e dall'estremo v della retta rappresentatrice di questa si guidi la perpendicolare alla direzione della forza oa e s'avranno i due triangoli simili (poichè rettangoli ed aventi un angolo comune) $oa'a''$ ed ova^{IV} , i quali danno

$$ov : oa = oa^{IV} : oa''$$

ossia

$$oa'' = \frac{oa \cdot oa^{IV}}{ov}$$

Una simile costruzione fatta per le altre due forze ob ed oc , darà :

$$ob'' = \frac{ob \cdot ob^{IV}}{ov} \quad \text{ed} \quad oc'' = \frac{oc \cdot oc^{IV}}{ov}.$$

E poichè la (15), pel caso attuale, dà :

$$oa'' + ob'' - oc'' = 0,$$

s'avrà pure:

$$oa \cdot oa^{IV} + ob \cdot ob^{IV} - oc \cdot oc^{IV} = 0;$$

e ponendo le forze oa , ob , oc rispettivamente rappresentate da P , Q , R , e le proiezioni della velocità ov su le rispettive loro direzioni da p , q , r , si avrà :

$$(16) \quad Pp + Qq - Rr = 0,$$

la quale significa che *allorquando più forze si equilibrano intorno ad un punto, imprimendo a questo una velocità in qualsiasi direzione, risulterà nulla la somma dei prodotti delle singole forze per le proiezioni di tal velocità sulle rispettive loro direzioni; ritenendo negative quelle proiezioni che cadono dalla banda opposta al verso delle forze rispettive.*

Accettando poi la denominazione di *momenti* proposta da Galileo per codesti prodotti di una forza per una velocità proiettata su la di lei direzione, può dirsi più brevemente che: *deve essere nulla la somma dei momenti di più forze operanti su d'un punto, quando siavi tra esse equilibrio.*

tal velocità stesse per sorgere. Ed è sotto questo aspetto che il precedente teorema prese nome di *principio delle velocità virtuali*.

§ 35. Codesto principio vige ancor quando il punto cui sono applicate le forze in equilibrio non sia interamente libero di muoversi in tutte le direzioni, essendo forzato a scorrere su una data linea od una data superficie, purchè la velocità impressa abbia una direzione di moto possibile. Perciocchè la resistenza opposta dalla superficie al penetrare in essa val quanto una forza applicata al punto stesso in direzione perpendicolare a quella superficie, e la velocità (perchè sia possibile) dovendo essere tangenziale alla superficie stessa, la proiezione di tal velocità su la direzione di questa forza sarà quindi nulla e perciò nullo sarà il momento da aggiungersi nella equazione predetta per riguardo a tal forza.

Inoltre questo principio non vige solo pel caso di forze applicate ad uno stesso punto, dimostrandosi nella meccanica analitica che esso vale anche pei casi dell'equilibrio di più forze applicate a punti differenti, i quali però siano collegati tra loro, sì da formare un sistema. Epperò è applicabile alla determinazione delle condizioni d'equilibrio delle varie macchine, siano semplici, oppur composte.

Dicesi *macchina* ogni congegno che stabilisca un dato rapporto di grandezza e di direzione fra le velocità con cui ponno muoversi i punti d'applicazione di due forze, l'una delle quali si denomina *potenza* e l'altra *resistenza*, essendo questi punti sistemati tra loro.

Qui basterà applicare questo principio ai casi di alcune macchine semplici, per mostrarne la fecondità. Notisi però che in ogni caso bisogna supporre impressi ai punti d'applicazione delle forze tali movimenti (che Carnot chiamò *geometrici*), i quali possano effettuarsi senza reciproco disturbo, cioè senza provocare tra essi alcuna tendenza nè al separarsi, nè al contrapporsi, tanto che continuerebbero a muoversi di concerto, ancor che cessasse tra loro ogni legame.

Di alcune macchine semplici.

§ 36. In generale, indicando con P e Q la potenza e la resistenza applicate ad una macchina, e con p e q i rapporti delle proiezioni su di esse delle velocità secondo le quali si moverebbero i loro punti d'applicazione, soddisfacendo ad un moto geometrico, dovrà, giusta la (16), sussistere la:

$$(17) \quad Pp - Qq = 0,$$

ossia *il momento della potenza dovrà essere eguale e di opposto segno al momento della resistenza*.

Chiamasi *leva* una verga inflessibile, retta o curva, girevole su di

un asse fisso, a due distinti punti della quale sono applicate due forze, tendenti a farla ruotare in opposto verso. Quindi la leva può riguardarsi quale un sistema formato da tre punti, invariabilmente collegati tra loro, uno de' quali sia fisso, chiamato *fulcro*, e gli altri

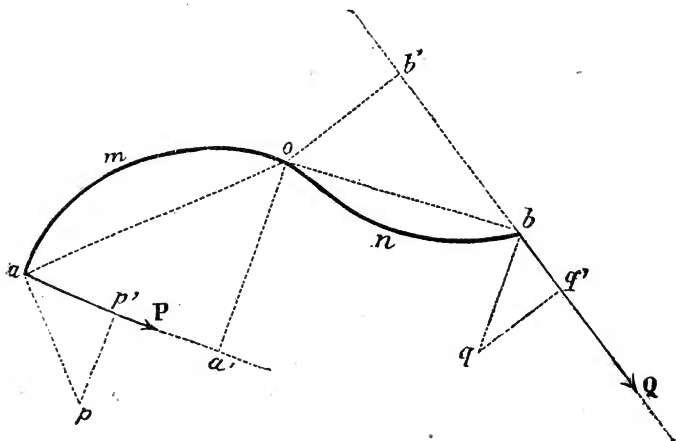


Fig. 13.

due sollecitati da due movimenti diretti in uno stesso piano passante pel fulcro. Però si distinguono leve di primo, secondo e terzo genere, secondo che il punto intermedio è tenuto dal fulcro, oppure dalla resistenza o dalla forza motrice.

In ogni caso, perchè codesti movimenti possano compiersi senza tendenza a modificare il legame dei detti tre punti, converrà che i punti d'applicazione delle due forze tendano a ruotare, descrivendo archi direttamente proporzionali alle rispettive loro distanze dal fulcro.

Consideriamo il caso più complesso, quello in cui la leva *amonb* sia curva, e le forze *P* e *Q* ad essa applicate, benchè dirette nello stesso piano, non siano normali alle rette *oa*, *ob* congiungenti i loro punti d'applicazione col fulcro *o*. Siano *ap* e *bq* le velocità da imprimersi ai punti *a* e *b* per soddisfare, come or si disse, ad un movimento geometrico. Dal punto *o* si guidino le *oa'* ed *ob'* perpendicolari alle direzioni delle forze *P* e *Q*, e si proiettino le velocità anzidette *ap*, *bq* su queste stesse direzioni: è chiaro che le loro proiezioni *ap'* *bq'* (che indicheremo rispettivamente con *p* e *q*) staranno

alle velocità stesse, come i cateti oa' ed ob' (che indicheremo con a' e b') staranno rispettivamente alle ipotenuse oa ed ob . Perciò si potrà porre:

$$p = a' v \quad \text{e} \quad q = -b' v,$$

ritenuta v la velocità di rotazione all'unità di distanza dal fulcro, ed osservando che una di tali velocità, essendo di verso opposto a quella della forza corrispondente, dovrà prendersi negativa. Ora, richiamando la equazione (17) per l'equilibrio d'una macchina in genere, si scorge che per la leva dovrà aversi:

$$P a' - Q b' = 0,$$

dividendo l'equazione per v . Ora le a' e b' , distanze dei punti di applicazione delle forze dal fulcro, misurate dalla perpendicolare guidata sulla direzione delle forze stesse, si dicono comunemente *bracci di leva*, ed i prodotti $P a'$ e $Q b'$ si chiamano *i momenti di rotazione* delle forze P e Q . Perciò l'equazione precedente significa che, per l'equilibrio d'una leva, il momento di rotazione della potenza deve essere eguale e contrario al momento di rotazione della resistenza; ovvero che la potenza e la resistenza devono essere in ragione inversa dei rispettivi bracci di leva, avendosi:

$$P : Q = b' : a'.$$

Qualora la leva sia retta, e le forze applicate in a e b sieno perpendicolari ad essa, coincidendo, nel principio del movimento, la direzione delle velocità p e q da imprimersi ai punti a e b colla direzione delle P e Q , le loro proiezioni saranno eguali od almeno proporzionali alle velocità stesse, epperò i bracci di leva corrispondendo alle oa ed ob , che noteremo con a e b , si potrà porre:

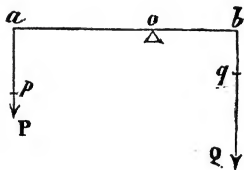


Fig. 14.

$$p = a v, \quad q = -b v,$$

ritenuto il significato suindicato di v , affinché il moto sia geometrico per la leva. Laonde la (17) darà più direttamente:

$$(18) \quad P a - Q b = 0,$$

ossia:

$$P : Q = b : a,$$

le quali si enunciano ancora come precedentemente.

Se poi fossero eguali tra loro i due bracci di leva, cioè $a = b$, per l'equilibrio dovrebbe essere $P = Q$, cioè la potenza dovrebbe essere eguale in grandezza alla resistenza.

§ 37. Dicesi *puleggia* o *carrucola* una macchina costituita da una rotella, girevole attorno un asse, sostenuto da una staffa, detta *bozzello*, e portante nel suo contorno un incavo o *gola*, entro cui scorre una fune, ai capi della quale sono applicate due forze traenti. Si distinguono però le puleggie in fisse e mobili.

Se la staffa portante l'asse è sistemata con un ritegno inamovibile, la puleggia è detta *fissa*. Allora la potenza e la resistenza essendo applicate ai capi della fune e dirette tangenzialmente alla gola, ciascuna di esse avrà dall'asse fisso una distanza eguale al raggio della puleggia. Epperò, per un moto geometrico, dovendo essere eguali tra loro le velocità impresse ai due punti della gola, dietro la equazione generale (17) dovrà essere:

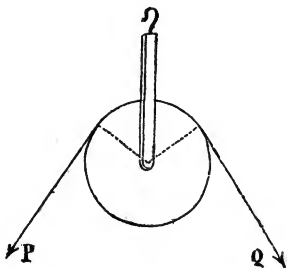


Fig. 15.

$$P = Q,$$

da che s'avrà $p=q$, poichè le velocità dovranno essere nella direzione stessa delle forze. Laonde la carrucola fissa, come una leva a bracci eguali, non modifica il rapporto delle velocità delle due forze, ma giova però a modificare la direzione della potenza rispetto a quella della resistenza. Così, ad esempio, supponendo le direzioni della potenza e della resistenza entrambe verticali, si potrà tirare un peso dal basso all'insù, per mezzo d'altro peso che tende la fune dall'alto al basso.

Se invece, essendo fisso uno dei capi della fune, la resistenza è applicata alla staffa della puleggia, sicchè questa muovesi con quella, la puleggia è detta *mobile*. Allora, se le direzioni dei due tratti di fune saranno parallele tra loro, affinchè il moto sia geometrico nella macchina, dovrà imprimersi alla potenza una velocità doppia di quella impressa alla resistenza, giacchè i due tratti di fune che la sorreggono dovranno, nel loro insieme, muoversi di quanto si muove il punto di applicazione della potenza. Quindi, posto

$$p=2v, \quad q=v,$$

la (17) darà :

$$Q = 2 P,$$

cioè la potenza dovrà eguagliare la metà della resistenza.

Quando poi i due tratti di fune non siano tra loro paralleli, è facile vedere che, nel mentre la resistenza s'alzerà d'una quantità

corrispondente al raggio della puleggia, il punto d'applicazione della

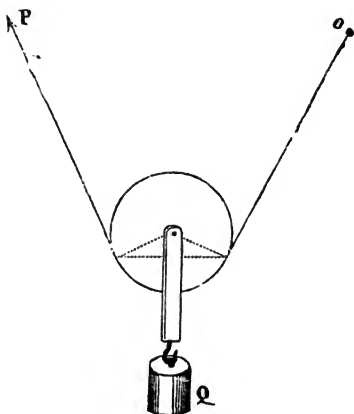


Fig. 16.

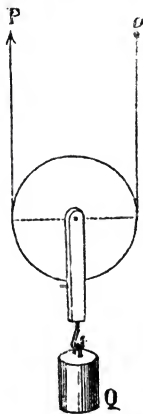


Fig. 17.

potenza dovrà muoversi d'una quantità corrispondente alla corda dell'arco della gola abbracciata dalla fune (fig. 16), ossia per l'equilibrio dovrà la potenza stare alla resistenza come il raggio sta alla corda del detto arco. Epperò, immaginando che i tratti della fune si riducano tra loro paralleli, questa proporzione stessa darebbe che la resistenza deve essere doppia della potenza; poichè, in tal caso, l'arco abbracciato dalla fune essendo la semi-circonferenza (figura 17), la corda di questa risponde al diametro e quindi al doppio del raggio, come si disse nel caso precedente. E sarà questa la condizione più vantaggiosa per l'impiego d'una carrucola mobile.



Fig. 18.

Un sistema di più carrucole, raccolte su d'una stessa staffa e girevoli su un asse comune, oppure su assi particolari, chiamasi *polispasto* o *taglia*. Quando — come d'ordinario accade — i tratti della fune, la quale va successivamente avvolgendosi su le gole delle varie puleggie, siano tra loro paralleli, e quando il polispasto è formato da alcune puleggie fisse e da altre mobili che reggono la resistenza, riesce evidente che, per ottenere un moto geometrico, si do-

vrà imprimere al tratto libero della fune, cui è applicata la potenza, una velocità che eguagli la somma degli accorciamenti che proveranno tutti i tratti di fune che sorreggono la resistenza. Quindi, per l'equilibrio, la potenza P dovrà eguagliare il quoto della resistenza Q per il numero n dei tratti di fune che sorreggono la resistenza, oppure pel doppio del numero delle puleggie mobili, cioè sarà:

$$nP = Q.$$

§ 38. Chiamasi *verricello*, o *tornio*, od anche *asse nella ruota* una macchina costituita da un cilindro, girevole su d'un asse fisso, sul quale cilindro s'avvolge una fune, fissa per un capo ad esso e portante all'altro estremo un peso: il cilindro stesso è sistemato con una ruota normale all'asse di rotazione, all'estremo d'un cui raggio si applica una potenza.

Però ancor qui si ha un sistema di tre punti, invariabilmente legati: l'asse di rotazione ed i punti d'applicazione della potenza e della resistenza; e sebbene tali due forze operino in diversi piani, essendo questi tra loro paralleli, i movimenti per esse impressi producono nelle parti della macchina effetti eguali a quelli che s'avrebbero se fossero in uno stesso piano. Quindi, per ottenere un moto geometrico, converrà, ancor qui, imprimere ai punti d'applicazione delle forze un moto rotatorio, con velocità p e q direttamente proporzionali alle loro distanze dall'asse, cioè al raggio della ruota per la potenza ed al raggio del cilindro per la resistenza, raggi che indicheremo con a e b : perciò sarà:

$$p = av \quad \text{e} \quad q = -bv,$$

e quindi ancora l'equazione generale (17) darà:

$$Pa - Qb = 0,$$

cioè, per l'equilibrio del tornio, dovrà stare la potenza alla resistenza come il raggio del cilindro sta a quello della ruota.

§ 39. Il *piano inclinato* è tal macchina semplice che giova a reggere una parte del peso d'un corpo che vuolsi sollevare.

Sia o il centro di gravità d'una massa pesante, rappresentante la resistenza appoggiata sul piano ab inclinato all'orizzonte ac dell'angolo $cab = i$. A tal punto supponiamo applicate e la resistenza Q (peso assoluto del grave) e la potenza P , operante parallelamente al piano, per mezzo d'una fune, accavalcantesi alla gola d'una carucola fissa, la quale non modifica punto, come s'è veduto, la condizione di grandezza della potenza. E perchè si verifichi un moto geometrico, senza disturbo o contrasto fra le parti della macchina — sempre astrazione fatta dagli attriti, — converrà che sieno eguali le velocità Pp ed oq che supporremo impresse alla potenza

ed alla resistenza nella direzione dei rispettivi movimenti. Ora proiettando la velocità oq su la direzione della resistenza, cioè sul prolungamento della verticale

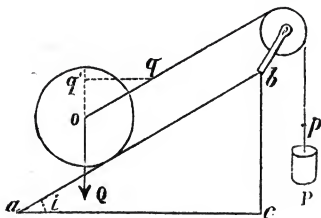


Fig. 19.

$o Q$, s'avrà il triangolo oqq' simile, per costruzione, al triangolo bac , rettangolo in q' ; e perciò la proiezione oq' sarà eguale al prodotto della velocità oq per il seno dell'ang. oqq' , e quest'angolo sarà eguale all'angolo cab . Perciò le proiezioni delle due velocità su le direzioni

delle forze saranno rispettivamente:

$$p = Pp = v$$

per la potenza (essendo coincidente la direzione della velocità e quella della forza), e

$$q = oq' = oq \operatorname{sen} cab = v \operatorname{sen} i$$

per la resistenza. Affinchè poi sussista l'equilibrio, per la (17) dovrà aversi:

$$P - Q \operatorname{sen} i = 0,$$

dividendo per v i membri dell'equazione. E poichè nel triangolo cab rettangolo si ha:

$$\operatorname{sen} i = \frac{bc}{ab} = \frac{a}{l}$$

chiamando a l'altezza bc del piano inclinato ed l la lunghezza ab del piano stesso, s'avrà pure per l'equilibrio:

$$Pb - Qa = 0.$$

Laonde, nel caso considerato che la potenza agisca parallelamente al piano, dovrà la potenza per l'equilibrio, essere eguale al prodotto della resistenza pel seno dell'angolo d'inclinazione del piano; ovvero *la potenza dovrà stare alla resistenza come l'altezza alla lunghezza del piano*.

E qualora la potenza P agisca nella direzione oP orizzontale, cioè parallela alla base $ac = b$ del piano, la velocità $ov = v$ da imporsi tanto alla potenza quanto alla resistenza; proiettata su le rispettive direzioni delle forze P e Q darà:

$$p = v \cos i \text{ ed } r = -v \operatorname{sen} i,$$

poichè l'ang. ovp è per costruzione complemento dell'angolo $vop = bac = i$. Quindi, per l'equilibrio la (17) darà:

$$P \cos i - Q \sin i = 0,$$

ossia, dividendo per $\cos i$:

$$P - Q \tan i = 0,$$

ovvero, considerando il triangolo rettangolo abc :

$$P : Q = a : b.$$

Pertanto, per l'equilibrio d'un grave posto su un piano inclinato e sospinto da una forza orizzontale, la potenza dovrà essere eguale al prodotto della resistenza per la tangente dell'angolo d'inclinazione del piano, oppure *la potenza starà alla resistenza come l'altezza del piano alla sua base*.

§ 40. Valgano i premessi esempi a mostrare la semplicità d'applicazione del principio delle velocità virtuali alla determinazione delle condizioni d'equilibrio per le varie forme di macchine.

Si noti poi che nei precitati esempi si è sempre fatta astrazione da ogni attrito fra le parti delle macchine e da ogni resistenza da esse incontrata nel loro moto, siccome s'usa nella meccanica astratta. Laddove nei casi pratici si dovrà tenere conto anche di questi attriti e di queste resistenze, che tornano a scapito dell'efficacia della forza motrice.

Composizione dei movimenti paralleli.

§ 41. Le suesposte condizioni d'equilibrio per una leva, ponno servire a desumerne la condizione d'equilibrio per tre forze parallele.

Ed in vero le grandezze relative di due di tali forze sono rappresentabili da due pesi, direttamente proporzionali ad essa, ed applicati a due distinti punti d'una retta inflessibile, giacchè questi pesi hanno da gravità sollecitazioni al moto parallele tra loro (cap. III), e giacchè il fulcro, se ha da reggere in equilibrio quei pesi (astrazione fatta dal peso della verga), dovrà spiegare una resistenza, diretta

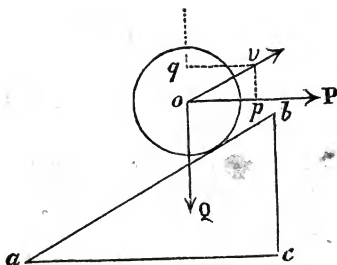


Fig. 20.

verticalmente, di basso all'insù, eguale all'insieme dei pesi stessi; cioè si potrà supporre tolto il fulcro, ed applicata a suo luogo una forza, parallela alle date, eguale alla loro somma, e diretta in opposto verso.

Inoltre la (18) per l'equilibrio nella leva ci porge modo di determinare la situazione del punto d'applicazione di codesta terza forza. Infatti, siano P e Q due forze parallele, applicate ai punti a b , e rappresentate in grandezza dalle aP e bQ : si guidi la retta congiungente que' due punti, e si determini su di essa tal punto o che soddisfi alla:

$$oa : ob = Q : P,$$

e da questo punto si guidi la parallela alle date, talchè sia:

$$oR = P + Q.$$

Questa retta, che giacerà nel piano stesso delle forze date, rappresenterà in direzione ed in grandezza una forza equivalente ed opposta alla loro *risultante*. Però le relazioni precedenti, ponendo $oR = R$, ci danno:

$$(19) \quad ob : oa = a b = P : Q : R,$$

ed inoltre dev'essere:

$$P + Q - R = 0,$$

le quali significano che: *per l'equilibrio fra tre forze parallele, applicate a diversi punti d'un sistema, ciascuna forza dev'essere proporzionale alla retta congiungente i punti d'applicazione delle altre due, e la somma algebrica delle tre forze dev'essere nulla, prendendo negativamente quella che è diretta in verso contrario dell'altre due, ritenute positive.*

Si osservi che in questo sistema ciascuna delle tre forze può riguardarsi come una forza eguale ed opposta alla risultante dell'altre due. Pertanto, se si avranno due forze parallele P ed R , dirette in contrario verso, la terza forza sarà data in grandezza dalla

$$Q = R - P,$$

cioè dalla differenza delle due date, e sarà da applicarsi dalla parte della più grande di esse, in tal punto b del prolungamento, la congiungente i loro punti d'applicazione, che soddisfi alle:

$$ob = oa \frac{P}{Q}, \quad \text{ed} \quad ab = oa \frac{R}{Q},$$

le quali si deducono dalla precedente serie di rapporti (19).

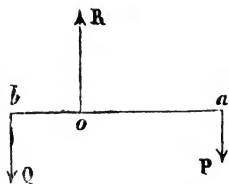


Fig. 21.

Però nell'applicazione di queste formole s'incontrano casi in cui esse riescono insolubili. Così, quando sieno date due forze parallele, eguali in grandezza, applicate a due distinti punti e dirette in contrario verso, ponendo $P = -R$, dalle precedenti si trae:

$$Q = 0, \quad ob = \infty, \quad \text{ed} \quad ab = \infty,$$

cioè la forza opposta alla risultante sarebbe nulla e da applicarsi ad una distanza infinita dai punti dati. Il che significa non essere allora possibile lo stabilire l'equilibrio con una sola forza; ma richiedersene almeno altre due, eguali alle date e da applicarsi in opposizione a ciascuna di esse: poichè queste, da loro, tendono a far ruotare la retta cui sono applicate intorno al di lei punto di mezzo. Cosifatte due forze costituiscono ciò che suolsi chiamare *una coppia*.

Seguendo le precedenti norme per la composizione di due forze parallele, si può determinare la risultante d'un qualsivoglia numero di forze parallele, applicate ad altrettanti punti, col comporre dapprima la risultante di due di esse con una terza; poi la risultante di tre con una quarta, e così successivamente. Il punto d'applicazione della risultante di più forze parallele dicesi anche *centro delle forze parallele*, poichè, se le componenti date sono fatte ruotare attorno i rispettivi punti d'applicazione, conservandosi parallele, la risultante ruoterà del pari applicandola al detto punto.

Così le singole molecole d'un corpo, sollecitate da gravità, in direzioni tra loro parallele, costituiscono un sistema di forze parallele, il cui centro, detto *centro di gravità*, godrà dell'anzidetta proprietà.

Leggi dell'urto.

§ 42. Il fenomeno generale della comunicazione del moto da uno ad altro corpo riceve qualche lume dallo studio delle leggi dell'urto tra due corpi.

Ogni volta che un corpo in moto incontra nel suo cammino un altro corpo, accade una serie di reciproche modificazioni nello stato d'entrambi, la quale, ove si compia rapidamente, chiamasi *urto*. Il risultato però ha relazione non solo colla grandezza e natura del moto d'uno di essi o d'entrambi, e colla rispettiva loro massa, ma ancora col particolar modo d'aggregazione delle loro molecole.

Supponiamo due sfere omogenee (§ 22), che si muovano in una stessa direzione e nel medesimo verso, e propriamente secondo la retta congiungente i rispettivi loro centri di figura, i quali coincideranno coi rispettivi loro centri di massa. Perchè s'incontrino, conviene che l'un d'essi si muova con una velocità maggiore di quella

dell'altro. In tal caso s'avrà *urto diretto e centrale*. Siano rispettivamente m ed m' , v e v' , le masse e le velocità delle due sfere, e sia $v > v'$, cosicchè la massa m raggiungerà la m' nel suo movimento.

Appena che le due sfere giungeranno all'apparente contatto, coi punti di mutua sporgenza, che coincidono colla retta dei centri, le rispettive molecole cominceranno a perturbarsi scambievolmente colla gravitazione delle loro masse e colle reazioni corrispondenti ai loro moti vibratorj termici, cosicchè ne saranno modificate le rispettive loro velocità di traslazione. Sebbene non ci sia nota la legge con cui varia l'intensità di codeste forze molecolari col mutare delle distanze, pur questo possiamo dire: col detto primo istante dell'apparente contatto delle due sfere incomincerà a suscitarsi un moto di compressione, ossia d'avvicinamento progressivo nei singoli strati di molecole, perpendicolari alla direzione del movimento, mano mano procedente dai punti di mutuo contatto delle due sfere sino all'estremo opposto dei rispettivi diametri, e ciò accadrà tanto nella massa m' perchè sollecitata ad aumentare la sua velocità dalla sfera urtante, quanto nella m perchè indotta dall'urtata a diminuire la propria velocità. Inoltre queste modificazioni nelle velocità preesistenti delle due masse andranno rapidamente crescendo per ogni ulteriore avvicinamento delle parti di m a quelle di m' , insino a che si saranno equabilmente distribuite e ridotte eguali in tutte le parti delle due masse.

A tal punto la massa m' avrà acquistata la velocità w' , e la m avrà perduta la velocità w , talchè si abbiano le:

$$(20) \quad v - w = u \quad \text{e} \quad v' + w' = u,$$

ponendo u la detta velocità comune alle due masse in quell'istante in cui cessa il moto di reciproca compressione delle due masse. E dovrà pur sussistere la:

$$(21) \quad mw = m'w',$$

poichè le dette scambievoli modificazioni operatesi tra le velocità delle due masse ponno riguardarsi quali corrispondenti all'effetto di una unica forza motrice, la quale avesse contemporaneamente ed egualmente operato sulle due masse, ma nell'una in opposto verso che nell'altra, tanto che avrebbe a ciascuna impressa una velocità inversamente proporzionale alla rispettiva massa (§ 21).

Però, nell'istante stesso in cui le velocità si saranno eguagliate nelle due masse, cessando il moto di avvicinamento dei detti strati di molecole normali alla retta dei centri, si susciterà per l'azione repulsiva di elasticità (che supporremo perfetta nelle due sfere divise) un movimento di verso contrario al precedente, ossia di re-

ciproco discostamento dei detti strati, e quindi di espansione delle sfere, insino a che la massa m avrà ancora perduta una parte della propria velocità eguale a w' e la massa m' avrà guadagnata un'altra parte di velocità eguale a w' , riconducendosi le due masse al primitivo stato di densità; epperò indicando con v e v' le velocità che risulteranno, rispettivamente in m ed m' al finire di codesta serie di moti espansivi, dovrà aver si:

$$(22) \quad u - w = v_1 \quad \text{ed} \quad u + w' = v'_1.$$

Qualora invece le due sfere fossero costituite da materia priva al tutto di elasticità, cioè perfettamente molle (§ 6), il fenomeno dell'urto si compirebbe col primo stadio sopra considerato, quello della compressione, cioè le due masse, dopo essersi schiacciate, ed egualiate le velocità, continuerebbero a muoversi colla velocità u , l'una di seguito all'altra, senza più premersi fra loro.

Pertanto le leggi dell'urto de' corpi elastici devono dedursi dalla combinazione delle tre equazioni (20), (21) e (22); laddove le leggi dell'urto pei corpi molli od anelastici si dedurranno dalle prime due di queste.

Intanto nell'un caso e nell'altro, la velocità comune nei due corpi urtanti, alla fine del periodo di condensazione o compressione, sarà data dalle (20) e (21), coll'eliminare w e w' , cioè sarà:

$$(23) \quad u = \frac{mv + m'v'}{m + m'},$$

la quale pei corpi elastici si verificherà solo per un istante, nel passaggio del periodo di condensazione a quello d'espansione, e pei corpi molli si manterrà dopo l'urto, cioè dopo il primo periodo.

Se poi la massa m' , invece di muoversi nello stesso verso della m , si movesse in senso contrario, si dovrebbe attribuire il segno negativo al valore di v' nella (23). E se m' fosse prima in quiete, dovrebbe nella stessa (23) porre $v' = 0$. Nel qual caso, ponendo altresì $m' = m$, avremmo:

$$(24) \quad u = \frac{1}{2} v.$$

Pei corpi elastici poi, combinando le (20) e (22) così da eliminare le w e w' , si avranno le:

$$(25) \quad v_1 = 2u - v \quad \text{e} \quad v'_1 = 2u - v',$$

dalle quali poi, eliminando la u , si ottiene:

$$(26) \quad v - v' = v'_1 - v_1,$$

la quale significa che, dopo l'urto, sussisterà fra le velocità delle due masse la stessa differenza che sussisteva tra le loro primitive velocità, ma in verso contrario.

I valori delle velocità finali si avranno dalla (25), introducendovi il valore di u dato dalla (23), cioè si avranno le:

$$(27) \quad v_1 = 2 \frac{mv + m'v'}{m + m'} - v \quad \text{e} \quad v'_1 = 2 \frac{mv + m'v'}{m + m'} - v'.$$

le quali, ove fosse $m' = m$, darebbero:

$$v_1 = v', \quad \text{e} \quad v'_1 = v,$$

cioè la massa urtante e la urtata si scambierebbero tra loro, coll'urto, le rispettive precedenti velocità. Che se poi la m' fosse dapprima in quiete, essendo $v' = 0$, s'avrebbe:

$$v_1 = 0, \quad \text{e} \quad v'_1 = v,$$

cioè la urtante si ridurrebbe in quiete, e la urtata si moverebbe colla velocità che aveva l'urtante stessa.

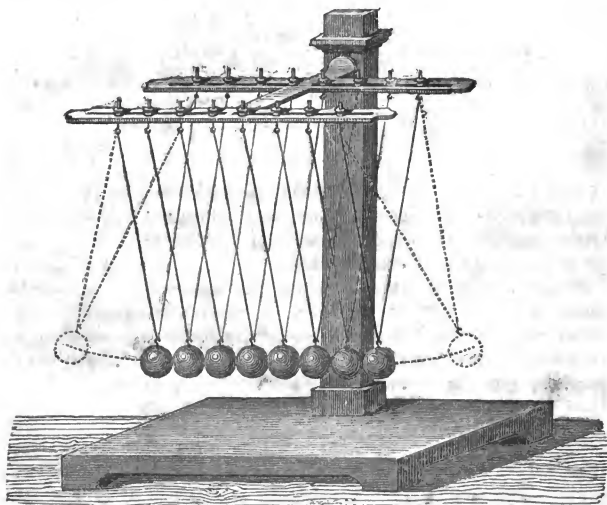


Fig. 22.

Avendosi una serie di palle elastiche, di egual massa, disposte coi rispettivi centri su una stessa retta, a mutuo contatto, l'una di se-

guito all'altra e tutte in quiete, meno una delle estreme, che fosse in moto nella direzione stessa dei centri, accaderebbe che la prima urtata, appropriatasi la velocità della urtante, la passerebbe integralmente alla seconda, e questa alla terza, e così di seguito, sino all'ultima della serie, la quale soltanto apparirà muoversi coll'anzidetta velocità della urtante, restando tutte l'altre in quiete. Le quali deduzioni si ponno approssimativamente verificare con un apparecchio formato con palle d'avorio disposte come si disse, e sospese ad una traversa per mezzo di fili, tanto che possano facilmente ruotare intorno i rispettivi assi orizzontali paralleli, mantenendosi co' loro centri in un dato piano verticale.

Sostituendo poi ai valori di w e w_1 dati dalla (22) nella (21), e quindi, ponendovi il valore di u dato dalla (23), si ottiene:

$$(28) \quad mv_1 + m'v'_1 = mv + m'v',$$

la quale esprime dover esservi, dopo l'urto, una somma di quantità di moto eguale a quella che era ne' due corpi innanzi l'urto.

Finalmente le (26) e 27), colla trasposizione dei termini, danno:

$$v + v_1 = v' + v'_1$$

ed:

$$m(v - v_1) = m'(v'_1 - v'),$$

e moltiplicando tra loro i membri corrispondenti di queste due:

$$m(v^2 - v_1^2) = m'(v_1'^2 - v'^2),$$

ossia:

$$(29) \quad mv^2 + m'v'^2 = mv_1^2 + m'v_1'^2,$$

la quale significa che nella due masse, la somma delle forze vive dopo l'urto riesce eguale a quella che sussisteva prima dell'urto. Questo risultato è indicato sotto nome di legge della *conservazione delle forze vive nell'urto de' corpi elastici*.

Pertanto, nell'urto tra corpi elastici, non vi ha perdita nè nelle quantità di moto (28), nè nelle forze vive (29).

Pei corpi molli, algebricamente parlando, possono pur dirsi eguali le somme delle quantità di moto prima e dopo l'urto, ritenute per negative le quantità dei moti che sono di verso contrario a quelle dei moti che si tengono positivi, poichè la (23) dà:

$$mv + m'v' = mu + m'u.$$

Ma nel senso fisico, dovrebbero dire che le quantità di moto sensibili (cioè corrispondenti a moti attuali di traslazione delle due masse) saranno minori dopo l'urto che non fosser prima, tutte le volte che i due corpi si muoveranno dianzi in opposto verso. Infatti, se poniamo che la velocità v' sia negativa, si avrà:

$$u(m + m') = mv - m'v';$$

anzi, se per avventura fossero, innanzi l'urto, eguali tra loro le quantità di moto ne' due corpi moventisi in opposta direzione, divenendo zero il secondo membro di questa equazione, dovrà essere $u = 0$, cioè dopo l'urto non s'avrebbe più alcun moto sensibile di traslazione. Laonde coll'urto apparirebbero distrutti in parte od in tutto i moti che pur sussistevano in due corpi.

Le quali illazioni, se ponno accettarsi, guardando la quistione solo dal lato algebrico, non sono punto accettabili nel senso fisico: poichè per questa scienza il pensare che un moto esistente possa annientarsi, è non meno assurdo che il supporre possa un movimento esser creato dal nulla, cioè da ciò che non sia un moto (§ 17). La creazione o la distruzione d'un moto è non meno inconcepibile della creazione o della distruzione della materia, almeno dal lato scientifico.

§ 43. Or bene interessa al fisico di conoscere cosa accada dei corpi molli, a differenza degli elastici, nell'atto che una parte del moto traslatorio o meccanico sembra scomparire.

E prima notiamo che, *nell'urto de' corpi molli, accade sempre una perdita di forza viva*. Poichè dalla (20), cavando i valori di w e w' e facendo i quadrati d'ambo i membri, si hanno le:

$$w^2 = v^2 - 2uv + u^2 \quad \text{e} \quad w'^2 = v'^2 + 2u'v' + u'^2,$$

e moltiplicando i membri della prima di queste per m e quelli della seconda per m' , indi, sommando i membri corrispondenti delle due equazioni, e riducendo col mezzo della (23), si ottiene:

$$(30) \quad m v^2 + m' v'^2 - (m w^2 + m' w'^2) = m u^2 + m' u'^2,$$

della quale il secondo membro esprime la somma delle forze vive dopo l'urto, mentre i primi due termini del primo membro esprimono la somma delle forze vive innanzi l'urto: epperò quest'ultima eccede la prima di tal quantità che rappresenta la perdita occorsa nella forza viva, la quale è commisurata alla variazione definitiva avvenuta nella velocità di ciascuna massa.

Qualora poi le due masse si movessero in opposto verso e con eguale quantità di moto, avendosi

$$m v - m' v' = 0$$

dovrà essere $u = 0$: epperò dalla (30) s'avrà anco:

$$m v^2 + m' v'^2 = m w^2 + m' w'^2,$$

cioè la forza viva perduta nell'urto eguaglierà la somma delle forze vive preesistenti.

§ 44. E qui sorge chiaramente il quesito: che mai significa fisicamente questa perdita di forza viva meccanica?

Sperimentalmente non è difficile trovare una risposta. Si prenda una grossa palla di piombo, sospesa ad un filo, che facilmente possa recidersi od abbruciarsi e che la tenga ad una altezza di parecchi metri sovra un piano orizzontale di marmo abbastanza stabile.

Or quando la palla, cadendo, giunge ad urtare il piano, si schiaccia, perchè molle, senza punto rimbalzare, cioè perde al tutto la forza viva acquistata colla caduta. Allora, per mezzo del tratto di filo che avrà portato seco, la si sollevi rapidamente, e si rechi la ammassatura di essa a toccare la base orizzontale di una pila termo-elettrica, la quale accennerà che nella palla, cessando il moto di caduta, si produsse calore.

Ed in vero, ripetendo la detta esperienza con palle d'egual massa, lasciate cadere da altezze mano mano maggiori, si riconoscerà che gli scaldamenti in esse prodotti sono direttamente proporzionali agli spazii di caduta, e quindi anche ai quadrati delle velocità ed alle forze vive per esse acquistate (a).

Pertanto, in tutti i casi di urto o di percossa fra corpi molli, o fra corpi molli ed altri elastici, nei quali accade una parziale o totale perdita di forza viva meccanica, si dovrà avere una produzione di calore ad essa commisurata.

Appar quindi probabile che anco il fenomeno della inversione della velocità che accompagna l'urto fra corpi elastici (vedi equazione 26) provenga da ciò che, nel periodo della condensazione, v'è conversione di forza viva meccanica in forza viva termica, annullandosi la precedente velocità in un dato verso; mentre poi, nel periodo di espansione, avvi conversione della energia termica dianzi prodotta in energia meccanica, facendo luogo ad una nuova velocità di traslazione, di verso contrario alla precedente. E così la forza viva meccanica, prodotta in questo periodo della espansione, eguagliando la analoga forza viva distrutta nel periodo della condensazione, fa diretta prova della equivalenza fra questa energia meccanica scomparsa e l'energia termica prodotta, come poc'anzi si asseriva.

§ 45. Gioverà da ultimo considerare il caso del moto riflesso per urto. Si abbia ancora un piano resistente ed elastico, bene stabile sul suolo, diretto orizzontalmente. Una palla elastica, lasciata cadere verticalmente al disopra di esso da una data altezza, coll'urto si schiaccierà sino ad estinguere completamente la forza viva meccanica acquistata nella caduta, convertendola in forza viva termica; però

(a) Questo argomento verrà meglio dichiarato ove si tratterà del rapporto fra il lavoro meccanico ed il calore.

nel successivo periodo di espansione o di elasticità, codesta forza viva molecolare, convertendosi ancora in forza viva meccanica, varrà a lanciare verticalmente di basso in su la sfera stessa sino all'altezza data dalla :

$$v^2 = 2gs;$$

ossia la palla, supposta perfettamente elastica, e tolta ogni resistenza di ambiente, potrebbe levarsi sino all'altezza medesima da cui è caduta (*a*). In realtà, ciò non accade per la imperfetta elasticità del corpo e per la resistenza dell'aria; ma la differenza tra la forza viva meccanica calcolata e la effettiva sarà rappresentata da una equivalente quantità di calore, prodotto in parte nella palla ed in parte nell'aria.

Se invece la sfera elastica giungerà a toccare il piano *mn*, muovendosi dapprima nella direzione *oa* ad esso obliqua, a questo moto si potranno sostituire due movimenti che gli equivalgano, secondo il principio esposto al § 28. Poniamo che uno di essi sia perpendicolare al piano, e l'altro a questo parallelo, ed applicati entrambi al centro di massa del corpo: la grandezza relativa di questi moti si otterrà guidando dal punto *a* estremo della *oa* (che supporremo rap-

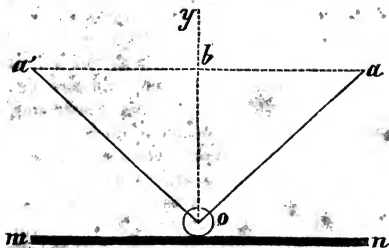


Fig. 23.

presentativa del moto della palla innanzi l'urto) la *ab* parallela al piano, sino ad incontrare la *oy* guidata dal centro *o* normalmente al piano: le due rette *ob* e *ba* saranno appunto rappresentative di due moti equivalenti ad *oa*, poichè queste tre rette compiono tra loro un triangolo (§ 28). Ora è manifesto che il moto *ba* non può produrre nessun urto col piano, al quale esso è parallelo, e che invece il moto *bo* sarà interamente efficace a produrre urto, e quindi, supposta perfetta l'elasticità della sfera e del piano, questo moto conver-

(a) Come si vedrà nel Cap. III, parlando del moto di gravità.

tendosi prima in calore, e poscia cotesto calore riconvertendosi in moto, sarà capace di elevare la sfera verticalmente sino all'altezza b , dalla quale la supponiamo caduta. E codesto moto, componendosi coll'altro ab che abbiain detto conservarsi inalterato dopo l'urto, farà luogo all'unico moto rappresentato dalla oa' , ottenuta prolungando la ab così che la ba' sia eguale alla ab , e congiungendo poi con una retta i due punti o ed a' : ossia la palla rimbalzerà dal piano, percorrendo col suo centro la oa' , che è un lato del triangolo oba , del quale gli altri due lati sono rappresentativi dei due moti componenti.

Ora si osservi che per la fatta costruzione, la oa' è nel piano delle oa ed oy , e che esso farà col piano riflettente mn un angolo eguale a quello che la ao faceva col piano stesso, giacchè i due triangoli oba ed oba' risultano eguali. Or questo risultato si può enunciare così: *nell'urto obliquo fra corpi elastici, la direzione del moto riflesso è nel piano determinata dalla direzione del moto incidente e dalla normale alla superficie riflettente nel punto d'incidenza, e queste due direzioni formano con siffatta normale angoli tra loro eguali*: oppure anche, per brevità, suol dirsi che, nell'urto obliquo fra corpi elastici, l'angolo di riflessione eguaglia l'angolo d'incidenza.

Del moto centrifugo.

§ 46. S'è già accennato che un moto curvilineo esser deve effetto di almeno due movimenti (§ 33), e che il caso più semplice è quello in cui l'un d'essi sia un moto uniforme, il quale, per inerzia, tende a mantenersi rettilineo e con velocità costante (§ 17), e l'altro un moto uniformemente accelerato, dovuto ad una forza continua e costante, che lo richiami verso un dato punto. Poniamo, per semplicità, che la curva descritta dal centro di massa del mobile sia la circonferenza d'un cerchio. Qualora i detti due movimenti avessero ad attuarsi separatamente, supponendo che or cessasse l'uno ed or l'altro, il mobile si muoverebbe, nel primo caso, secondo la tangente della curva al punto in cui cessasse la forza continua, e perciò questo moto è detto *tangenziale*; e nell'altro caso si muoverebbe secondo il raggio del cerchio corrispondente al punto della circonferenza in cui venisse invece a cessare il moto tangenziale, e che perciò è detto *moto centripeto*.

Sia om un archetto brevissimo di cerchio, descritto in un istante di tempo da un punto ruotante: per o si guidi la tangente alla curva sino ad incontrare il prolungamento del raggio corrispondente al punto m , e per quest'ultimo punto si guidi la parallela alla detta tangente sino ad incontrare il raggio corrispondente al punto o . Le

rette ot ed oc saranno rispettivamente rappresentative del moto tangenziale e del moto centripeto, i quali, verificandosi insieme nel detto istante, danno per risultato il moto curvilineo om , che ben poco differirà dalla corda congiungente i due punti o ed m , se veramente l'archetto om è brevissimo. Poichè allora om può riguar-

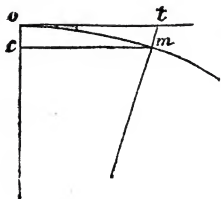


Fig. 24.

darsi quale uno dei lati del triangolo ocm , gli altri due lati del quale rappresentano i moti componenti di quello (§ 28), qualora si ritenga $cm = ot$, per quanto s'è supposto. È pur facile comprendere che nel mentre il moto oc impedisce al punto mobile di proseguire nel moto rettilineo ot , per reazione d'inerzia, il mobile stesso reagirà contro l'azione di quello, spiegandovi contro una reazione eguale e contraria, cioè il punto stesso tenderà a

muoversi nella direzione co con una velocità eguale ad oc , discostandosi dal centro del moto; ed è questa reazione dovuta ad inerzia, che dicesi *moto centrifugo*, il quale perciò eguaglierà in grandezza il moto centripeto che lo provoca.

Codesta tendenza centrifuga si manifesta agevolmente in tutti i casi in cui un corpo è forzato a muoversi per una linea curva colla pressione o tensione che esso produce contro ciò che lo obbliga a mantenersi nella curva stessa, e meglio si rileva coll'apparecchio, comunemente detto delle forze centrali, col quale si ponno ancor riconoscere, approssimativamente, le leggi di questo moto.

Con apposito congegno si produce un rapido moto di rotazione attorno un asse fisso e verticale in differenti sistemi di corpi. Su di una verghetta ben tesa, ponno scorrere due palle d'avorio, che sono da essa attraversate secondo un diametro e che sono fra loro collegate da un filo elastico. Se le due palle hanno egual massa ed i lor centri son posti ad eguale distanza dall'asse di rotazione, col movimento, si produrrà soltanto una tensione nel filo, tendendo entrambe le palle, e con egual energia, a discostarsene. Che se l'una delle palle avrà massa maggiore, o starà a maggior distanza dall'asse, non appena si imprimerà moto rotatorio al sistema, quella palla trarrà seco anco l'altra, ed entrambe si spingeranno il più lungi possibile dall'asse di rotazione.

Un anello circolare formato da una lamina elastica vien fatto ruotare attorno un suo diametro, libero però di scorrere su di esso: ruotando, assumerà la figura ellittica coll'asse minore, coincidente con quello di rotazione e coll'asse maggiore in direzione normale a

quest'ultimo, perocchè tutti i punti della lamina sono sollecitati a discostarsi dall'asse di rotazione, e tanto più energicamente quanto maggiore è la loro distanza dâ questo.

Un globo di vetro, pieno d'acqua con alcune palline di sovero ed altre di piombo, fatto ruotare intorno un suo diametro rispetto al quale la sua superficie interna sia simmetrica, mostrerà che i corpi più densi tendono a discostarsi quanto più possono dall'asse di rotazione, formando un anello equatoriale, mentre i meno densi sono dall'acqua stessa sospinti lunghe l'asse di rotazione, ov'è minima la velocità di rotazione.

Molte sono le applicazioni che riceve l'azione centrifuga, tanto nella meccanica pratica, quanto ne' fenomeni naturali, che frequentemente cadono sotto la nostra attenzione. Qui ci limiteremo a desumere dalle cose predette le leggi dell'azione stessa.

§ 47. Richiamando la precedente figura, poniamo che l'archetto om sia percorso dal mobile di massa m nel tempuscolo t o colla velocità v , e che oc rappresenti lo spazio s percorso di moto uniformemente accelerato nello stesso tempuscolo per l'azione centripeta, la cui intensità riferita all'unità di massa sia c . Avremo $om = vt$ (§ 20) pel

moto uniforme, ed $oc = s = \frac{1}{2} ct^2$ (§ 24) pel moto uniformemente ac-

celerato. Inoltre, potendosi ritenere l'archetto om equivalente alla corda di esso, s'avrà pure:

$$oc : om = om : 2r,$$

posto r il raggio del detto arco. E perciò, eguagliando i valori di oc dati dalle ultime due, e giovandosi del preindicato valore di om , si ottiene:

$$c = \frac{v^2}{r}$$

qual espressione della accelerazione centripeta su l'unità di massa. E poichè quest'azione è pur direttamente proporzionale alla massa del mobile, s'avrà anche:

$$(31) \quad c' = m \frac{v^2}{r}$$

indicando con c' l'energia centripeta totale su la massa m .

E, poichè s'è detto che l'azione centrifuga dev'essere, quanto alla sua grandezza, eguale alla centripeta, codeste formole varranno anche per l'intensità della *forza centrifuga*, la quale perciò sarà *direttamente proporzionale alla forza viva del corpo ruotante, ossia al prodotto della sua massa pel quadrato della sua velocità, ed*

inversamente proporzionale al raggio dell'arco che esso va descrivendo.

§ 48. Nella meccanica superiore si dimostra che, quando in un corpo od in un sistema di punti, si verificano ad un tempo più movimenti di rotazione attorno assi diversi, si compongono ancor essi, giusta le norme suesposte per la composizione dei moti di traslazione rettilinea (§ 28), cioè giusta il principio della indipendente coesistenza dei movimenti.

CAPO III.

DELLA GRAVITÀ.

§ 49. Dicesi *gravità* la proprietà mostrata da tutti i corpi terrestri, ed anche dalle loro parti minime, d'essere *pesanti*, cioè di muoversi secondo una determinata direzione e con una determinata legge di velocità, quando sieno abbandonati a loro medesimi, e di esercitare una pressione od una trazione sui corpi. che s'oppongono a questo loro moto.

Questa proprietà è inerente alle molecole dei corpi. Poichè il *peso* di un corpo, cioè la grandezza della pressione o della trazione, che esso esercita su quanto gli impedisce il proprio moto di gravità, non muta punto col dividerlo in parti quali si vogliano, o col mutarne lo stato d'aggregazione per opera del calore o d'altra forza estrinseca.

Ora codesta qualità delle parti minime, manifestandosi con moti effettivi o con sollecitazioni al moto, può riguardarsi quale una forza, o meglio quale un'energia propria delle stesse molecole che diciamo gravi.

All'intento poi di conoscere l'indole del moto di gravità de' corpi importa studiare anzitutto la direzione e la velocità del moto stesso.

Direzione della gravità.

§ 50. È agevole il determinare la direzione del moto di gravità. Un filo molto flessibile, avente un capo collegato ad un punto fisso (rispetto alla superficie terrestre) e sorreggente coll'altro capo libero un grave, lorchè si mostra in quiete relativa, si disporrà col proprio asse nella direzione secondo la quale muoverebbesi il centro di gravità del corpo sospeso, qualora si troncasse il filo senza smuoverlo. Poichè in tal disposizione soltanto può sus-



Fig. 25.

il filo senza smuoverlo. Poichè in tal disposizione soltanto può sus-

sistere l'equilibrio fra la risultante della gravità d'ogni sua molecola e la tensione elastica provocata tra le parti del filo, a vendosi due sforzi direttamente opposti ed eguali tra loro in grandezza. Allora la retta, secondo la quale si dispone l'asse del filo a piombo in quiete, dicesi la *verticale*, corrispondente al punto di sospensione del filo, od al centro di gravità del corpo sospeso.

Questa direzione aver deve un determinato rapporto con quella della superficie libera delle acque estese e tranquille, poichè anche la forma di questa superficie è una dipendenza della gravità. Infatti le molecole superficiali d'un liquido, attesa la loro mobilità e scorrevolezza, sono libere di disporsi secondo che richiede la loro gra-



Fig. 26.

vità, cioè tutte alla minima distanza possibile dal centro di massa della terra.

Ora l'esperienza dimostra che ogni retta verticale è normale alla superficie anzidetta.

Il che può rilevarsi con un piombino pescante in acqua nerastra, poichè si scorgono in una medesima retta la immagine diretta e la riflessa del filo, guardando questa da qualsiasi banda. Che se l'acqua sarà limpida, si scorgeranno in linea retta l'immagine diretta della parte emersa e l'immagine rifratta della parte sommersa del filo, come rilevasi soccorrendo il giudizio su le coincidenze nella direzione di queste due immagini, mercè altro filo a piombo, il quale, convenientemente disposto nel piano visuale, le occulta entrambe. Epperò nell'un caso e nell'altro la direzione del filo dev'essere normale sia alla superficie riflettente, sia alla superficie di separazione dei due mezzi di diversa rifrangenza (fig. 26).

Ora, se la superficie terrestre corrispondente a quella delle acque tranquille è pressochè sferica, come ce lo provano le eclissi di luna, si può inferirne che le verticali corrispondenti ai diversi punti terrestri concorrano al centro della terra.

Il che si conferma direttamente; poichè, guardando contemporaneamente una medesima stella da due diversi punti terrestri, si trova che le visuali alla stella (le quali ponno ritenersi tra loro parallele, attesa la enorme distanza d'ogni stella dalla terra (a)), comprendono angoli differenti colle corrispondenti verticali; e queste differenze sono proporzionali alle differenze in latitudine e longitudine de punti stessi.

Ad esempio, l'arco ep rappresenti un quadrante d'un meridiano terrestre, posto ce un raggio equatoriale e cp il semiasse polare: sul medesimo meridiano si considerino i punti m ed n , le cui verticali saranno rispettivamente cv e cv' , e da essi s'immaginino guidate contemporaneamente le visuali ms ed ns' ad un'individuata stella, fra loro fisicamente parallele per ciò che or si disse. Ora dal punto n guidando la nv'' parallela alla mv , s'avrà $s'\hat{n}v'' = \hat{sm}v$: d'altra parte essendo per costruzione $v\hat{n}v' = \hat{mc}n$, e misurando questo la differenza delle latitudini dei punti m ed n , le quali sono date rispettivamente dagli angoli ecm ed ecn , ne deriva appunto $v''\hat{n}v' = \hat{mc}n$, ossia

$$s'\hat{n}v' - \hat{sm}v = \hat{ec}n - \hat{ec}m.$$

Da qui si ritrae una più precisa definizione della *verticale* d'un dato punto terrestre: essa è quella retta che congiunge codesto punto col centro di massa della terra.

(a) Una delle più vicine stelle, qual è α Centauro, avendo una parallasse annua di $0''{,}92$, dista da noi 225 mila volte il raggio medio dell'orbita terrestre, il quale misura 24047 raggi equatoriali terrestri. Talchè la luce, la quale corre oltre trecentodieci mila chilometri in $1''$, impiega circa tre anni ed un quinto a percorrere tanta distanza qual è tra la terra e la detta stella.

La retta d'equilibrio d'un filo a piombo non coincide però con questa, sia in riguardo ad azioni locali di gravitazione, sia in riguardo al moto rotatorio della terra, siccome si vedrà innanzi.

Atteso poi l'ampio raggio di curvatura della superficie terrestre, si ponno ritenere fisicamente parallele le verticali corrispondenti a

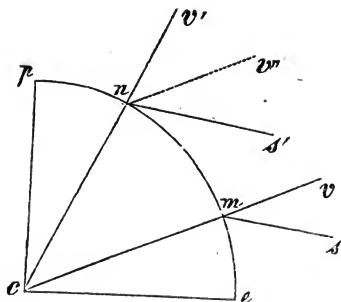


Fig. 27.

punti tra loro assai vicini. Ritenendo la circonferenza di un meridiano medio della terra (§ 11) corrispondente a $m. 10000875 \times 4$, si trova che per comprendere l'angolo di due verticali devono distare tra loro d'incirca metri 1852, e per comprendere l'angolo di solo un minuto secondo di grado esse devono corrispondere a due punti discosti a circa met. 30, 9.

Da queste prime nozioni su la direzione del moto de' gravi rilevasi che *la gravità può assumersi come una forza correlativa ad una azione reciproca di avvicinamento tra tutte le molecole della massa terrestre*; talchè per un dato grave le risultanti di codeste azioni e reazioni molecolari ponno ritenersi applicate ai rispettivi centri di massa (della terra e del grave stesso).

Centro di gravità dei corpi.

§ 51. Dicesi poi *centro di gravità* di un corpo quel punto cui può ritenersi applicata la risultante della gravità delle singole sue molecole, e pel quale passa sempre codesta risultante, qualunque sia la posizione data alle parti superficiali del corpo, rispetto ad un punto fissato all'infuori.

Nei solidi aventi un'uniforme struttura e densità, ne' quali cioè tutte le molecole siano omogenee e stiano a distanze eguali tra loro (due a due le prossime), riesce agevole il determinare la posizione del centro di gravità.

Immaginando una retta pesante, costituita da una fila di molecole omogenee, poste ad eguali successive distanze tra loro, è evidente che il centro di gravità di tal retta starà nel punto di mezzo della sua lunghezza.

Immaginando poi una superficie piana, costituita da tanti filetti paralleli di molecole, pure tra loro equidistanti, se essa avrà un centro di figura (come un parallelogrammo, un cerchio, ecc.) in tal punto starà anche il centro di gravità.

Se un solido vien supposto costituito da tanti strati paralleli ed equidistanti, formato ciascuno come l'anzidetta superficie, e se questo solido avrà un centro di figura (come una sfera, un cilindro retto, un cubo, ecc.) ivi sarà pure il centro di gravità.

In generale può dirsi che i corpi di densità uniforme (§ 22) aventi un centro di figura, in tal punto avranno anche il loro centro di gravità.

Ed ancor quando le superficie ed i solidi non hanno centro di figura, si può determinare, per varie considerazioni meccaniche, la situazione del centro di gravità, purché abbiano densità uniforme.

Ad esempio, in una superficie triangolare, costituita come dianzi, il centro di gravità dovrà trovarsi su la retta congiungente il punto di mezzo d'uno dei lati col vertice dell'angolo opposto, giacché questa

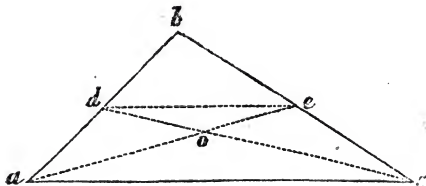


Fig. 28.

retta passerà per tutti i punti di mezzo dei filetti di molecole, considerati paralleli a quel lato e costituenti la superficie stessa. E ciò dovendosi verificare per altra retta condotta similmente, ma rispetto ad altro lato del triangolo, il centro di gravità della superficie dovrà trovarsi nel punto comune (o d'intersezione) di tali due rette. Siano ae e cd siffatte due rette pel triangolo abc , e si guidi la de che sarà parallela alla ac ed eguale alla metà di essa. Dalla considerazione

dei vari triangoli simili che ne conseguono, è facile dedurre che sarà oe un terzo di ae , e che perciò il centro di gravità della data superficie triangolare corrisponde al terzo della retta congiungente il punto di mezzo di un lato col vertice dell'angolo opposto, partendo dal lato stesso.

Per le superficie piane a figura irregolare si determinerà sperimentalmente la posizione del centro di gravità, sospendendole ad un filo flessibile, successivamente per due punti diversi del suo contorno, e trovando il punto d'incontro delle direzioni del filo, prolungate lunghe l'asse della superficie, quand' essa ne pende in equilibrio.

Per un solido a figura e struttura irregolare può trovarsi il centro di gravità, facendolo posare in bilico su lo spigolo orizzontale d'un prisma triangolare in tre diverse disposizioni (rispetto alle parti della sua superficie poste su lo spigolo), e trovando il punto comune alle tre sezioni fatte al corpo in tali posizioni dal piano verticale passante pel detto spigolo.

§ 52. Secondo che si è detto poc'anzi, per una verga, cilindrica o prismatica, omogenea di costituzione e di struttura, il centro di gravità dovrà trovarsi nel centro di figura della sezione fatta alla verga medesima con un piano normale al suo asse longitudinale e passante pel punto di mezzo di questo.

Codesta sezione avrà pure la proprietà di dividere il peso della verga in due porzioni tra loro eguali. Ora si suppongano concentrate in due distinte masse queste due parti della verga ed applicate rispettivamente agli estremi dell'asse della verga stessa, rappresentata da una semplice retta rigida non pesante. Per ragione di simmetria è chiaro che il centro di gravità di queste due masse eguali tra loro starà ancora nel punto di mezzo di questa retta, e che però qualora si applichi in tal punto uno sforzo, eguale al peso della verga data, diretto verticalmente ed operante di basso in su, il sistema predetto starà ancora a segno, cioè rimarrà equilibrato ed orizzontale, del pari che avrebbe fatto la verga sorretta pel suo centro di gravità.

In simil modo può ammettersi che, avendosi tre punti in linea retta ed equidistanti fra loro, sistemati per mezzo d'un'asta rigida, ed imprimendo ai due punti estremi due movimenti eguali, paralleli e diretti nel medesimo verso, si avrà un sistema equilibrato, coll'imprimere al punto di mezzo un movimento eguale alla somma degli altri due, parallelo ad essi, ma di verso contrario, poichè di tal modo quest'ultimo movimento eliderà l'effetto degli altri due (§ 41).

E qui si noti che ciascuno dei due moti impressi ai punti estremi della retta, tenderà a farla ruotare attorno al punto di mezzo; ma il momento di rotazione dell'una equivarrà a quello dell'altra, es-

sendo eguali e di verso contrario i due sforzi, ed eguali le distanze dei rispettivi punti di applicazione dal centro di rotazione (§ 36).

Analogo a questo è il caso della *bilancia*. Un' asta rigida, equilibrata quanto al proprio peso, è sorretta pel suo punto di mezzo, così da poter liberamente ruotare intorno a tal punto: essa rimane equilibrata, cioè l'asta si riduce e si mantiene orizzontale, se si applicano ai suoi punti estremi corpi di egual peso.

La bilancia.

§ 53. Pertanto una *bilancia* corrisponde ad una leva a bracci eguali: talchè la condizione d'equilibrio riducesi all'essere eguali i pesi applicati ad essi (§ 36).

Ma in realtà molti sono i riguardi da aversi perchè una bilancia sia esatta e sensibile, cioè valga a determinare con esattezza i pesi relativi dei corpi. Diremo prima come essa d'ordinario sia costituita.

Una verga inflessibile in ferro chiamata *flagello*, è attraversata nel suo punto di mezzo da un prisma triangolare d'acciajo, detto *coltello*, un cui spigolo diedro volto all'ingiù, posando col tagliante delle sue laterali sporgenze su due piccoli piani d'acciajo temperato o di agata, costituisce l'asse di rotazione del flagello: questo, presso le sue estremità è attraversato da altri due prismi d'acciajo aventi il tagliante volto all'insù, i quali servono a portare i piatti o *guscii*, sui quali si pongono i pesi da paragonarsi. I taglianti dei detti tre coltelli sono paralleli tra loro ed in uno stesso piano, e i due estremi sono equidistanti dal medio. Dal mezzo del flagello, e perpendicolarmente alla sua lunghezza, si diparte un lungo ago, che col suo estremo mobile in prossimità di un piccolo arco di cerchio fa da indice per le oscillazioni del flagello, essendo quest'arco concentrico coll'asse di rotazione, ed avendo lo zero in corrispondenza alla posizione verticale dell'ago e quindi alla disposizione orizzontale della leva (fig. 29).

La colonna che porta i sostegni del flagello sorge da una base, munita di viti d'orizzontamento, per mezzo della quale può ridursi verticale l'indice quando il flagello sta in bilico. A reggere il peso del flagello durante l'inazione, e nel mentre lo si carica di pesi, sono impiantati sulla colonna due robusti bracci, formanti una *forchetta*, su cui si fa riposare il flagello, e che può abbassarsi, per mezzo d'un congegno di leve ed aste attraversante la colonna, quando si vuol lasciar libero il flagello stesso.

Perchè poi una bilancia sia *precisa* o *giusta* bisogna che i due bracci del flagello siano veramente eguali in lunghezza ed in peso, e

che il centro di gravità del flagello in un coi gusci cada nel piano verticale passante per l'asse di rotazione quando il flagello è orizzontale, e riesca un po' al disotto del medesimo asse di rotazione.

Per riconoscere se una bilancia sia giusta non basta osservare se, lasciando libero il flagello, questo si riduca orizzontale dopo alcune oscillazioni, lorchè i gusci sono scarichi d'ogni peso; ma bisogna ancora far quest' altra prova. Perre su un guscio un peso qualsiasi,

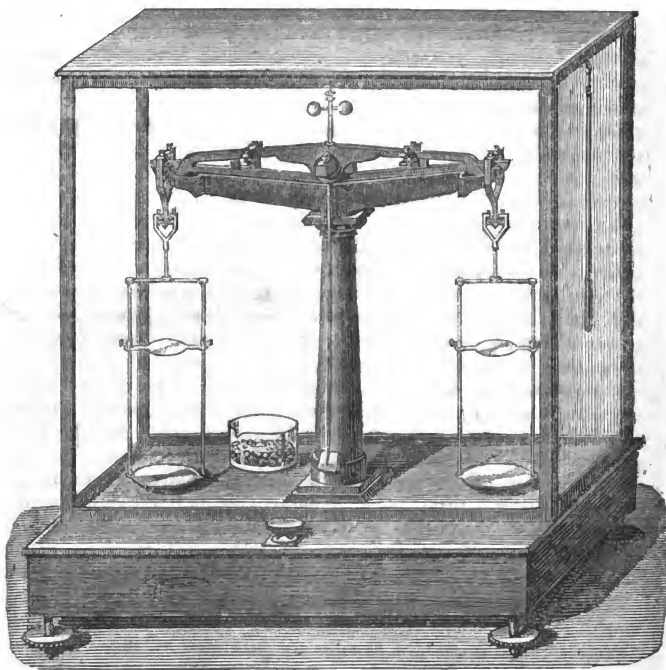


Fig. 29.

caricare l'altro guscio con quanto occorre (meglio con minuti pallini di piombo) per ridurre il flagello orizzontale, indi scambiare ciò che sta su l'un guscio con quel che sta su l'altro; se il flagello si ridurrà ancora orizzontale, i bracci saranno eguali, se no la bilancia

sarà falsa, cioè sarà più lungo il braccio dalla banda del quale avrà traboccato il flagello. Tuttavia una bilancia cosiffatta potrà ancora servire a determinare con precisione il peso relativo d'un corpo col metodo seguente, detto della *doppia pesata*.

Posto il corpo da pesare su d'un guscio, si mettano su l'altro corpi quali si vogliano, ma di preferenza pallini di piombo minutissimi, sino ad ottenere che il flagello stia giustamente in bilico; allora, lasciati in luogo questi corpi, si tolga il corpo da pesare, e sul guscio stesso dov'esso stava si pongano i pezzi di misura de' pesi in tal quantità (curando anche le frazioni minime dell'unità di peso) che il flagello ritorni a stare in bilico. Allora l'insieme di questi pesi convenzionali ed il peso del corpo dato, avendo operato sul medesimo braccio di leva, ed avendo equilibrato lo stesso carico lasciato su l'altro guscio, dovranno essere tra loro eguali, sebbene i bracci della leva siano diseguali.

Una bilancia è detta *sensibile* quando trabocca per minima differenza nel carico dei gusci. Per ottenere ciò abbisogna: che il flagello sia lungo e leggero quant'è possibile, compatibilmente colla sua resistenza all'inflessione; che il centro di gravità del flagello riesca ben poco al disotto dell'asse di rotazione; che l'asse di rotazione del flagello e gli assi di sospensione dei gusci siano, come si accennò sopra, in uno stesso piano, e che minimo sia l'attrito dei taglianti dei tre coltelli contro i rispettivi sostegni.

Per raggiungere la prima condizione si usa foggare l'asta del flagello a guisa d'un rombo, vuoto nelle parti interne, onde ottenere bastevole resistenza all'inflessione con poco materiale, se ha da regger solo piccoli carichi; chè altrimenti la si forma con un'asta piena, la cui sezione mediana sia un rombo coll'asse verticale di ben maggiore lunghezza dell'asse orizzontale, e le cui sezioni man mano discoste dalla mediana vanno riducendosi minori.

A regolare poi la sensibilità, dipendentemente dalla distanza del centro di gravità del flagello dall'asse di rotazione, si suole applicare nel mezzo del medesimo flagello una piccola massa pesante, girevole a vite su d'un'asticina, alzando od abbassando la quale si riduce a conveniente misura la predetta distanza. Quando però la bilancia sia molto sensibile, appunto perchè il flagello riesce mobilissimo, invece di lasciar trascorrere gran tempo innanzi che si fissi orizzontale, si notano le deviazioni fatte dall'indice dalle due bande dello zero dell'arco graduato, e si ritengono eguali i pesi posti sui due gusci, quando la deviazione fatta da una banda eguaglia la semisomma delle due deviazioni, l'antecedente e la susseguente, fatte dalla banda opposta: e così per parecchie oscillazioni di seguito.

Leggi del moto dei gravi.

§ 54. Dall'altro elemento del moto de' gravi caveremo altri più precisi indizj su la natura della gravità.

Il primo fatto importante è che codesta energia si manifesta con eguale efficacia in tutti i corpi, benché differenti assai in densità e natura chimica, per ciò che, cadendo liberamente, e partendo insieme dalla quiete, percorrono eguali spazj in tempi eguali, ossia si muovon tutti con egual legge di velocità.

Galileo fu il primo che, per varie e giudiziose considerazioni meccaniche, venne nella convinzione che, ove si potesse levare totalmente la resistenza dell'aria, tutti i corpi, qualunque siano la loro natura ed il loro peso, si moverebbero per modo da percorrere, per la propria gravità, una data altezza di caduta in un medesimo tempo.

E, non potendo egli eseguir direttamente questo sperimento (come poté fare Newton dopo l'invenzione della macchina pneumatica, dovuta ad Ottone Guericchio nel 1650), immaginò di lasciar cadere dalla torre di Pisa (alta 200 braccia, circa m. 117) corpi di molto differente densità (oro, piombo, porfido, legno, cera), aventi però eguali superficie, foggia do li a sfere di egual diametro e lisce alla superficie, onde fosse possibilmente eguale e minima la resistenza dell'aria. Di tal modo egli trovò che le più lievi di pochissimo distavano dal suolo quando le più gravi lo toccarono, essendo tutte partite dall'alto in uno istesso istante.

Ma ancor più concludente era quest'altro suo esperimento, impropriamente attribuito a Newton. Prese due palle, una di piombo ed altra di legno, di egual diametro, ed attaccativi due sottili spaghi egualmente lunghi, osservò che, deviatele dalla stessa parte ed in egual tempo dalla verticale, compivano poi oscillazioni di eguale durata; se non che quella di legno si conduceva alla quiete in un minor numero di vibrazioni. Con ciò, reiterandosi le tante volte la discesa di que' corpi da piccola altezza, dovevansi far palesi le minime differenze degli impulsi che la gravità avesse ad imprimere loro (a).

Ora, se per gravità i diversi corpi si muovono con eguali velocità,

(a) Newton ripeté queste esperienze in modo analogo, e ne ebbe lo stesso risultato. Più recentemente furono ripetute da Bessel con tutta la squisitezza dei mezzi di osservazione, de' quali può disporre la scienza moderna.

non ostante la differenza nelle loro masse, è necessario che codesta proprietà si manifesti in ognuno di essi con energia appunto proporzionata alla loro massa: giacchè l'intensità d'una energia si misura dal prodotto della massa per la velocità impressa (§ 26). Siano F ed F' le intensità degli impulsi di gravità su due corpi di massa relativa m ed m' , i quali, percorrendo un dato spazio di caduta, acquistano la stessa velocità v ; si avrà:

$$F = mv \quad \text{ed} \quad F' = m'v,$$

quindi:

$$(32) \quad F : F' = m : m',$$

cioè l'impulso al moto che per gravità spiega ogni corpo è direttamente proporzionale alla sua massa.

§ 55. Galileo, col potente suo genio, seppe d'un tratto ridurre a perfezione la dottrina della gravità. Poichè si fe' prima a svolgere col raziocinio quali essere dovessero le leggi d'un moto equabilmente accelerato, e poscia a dimostrare coll'esperienza che « ogni corpo ha » da natura intrinseco principio di muoversi verso il comun centro » de' gravi, cioè del nostro globo terrestre, con movimento continuamente accelerato e sempre accelerato egualmente, cioè che in tempi » eguali si fanno aggiunte eguali di nuovi gradi in velocità: e questo si deve intendere verificarsi, tutta volta che si rimovessero » tutti gli impedimenti accidentali ed esterni, fra i quali vi ha l'impedimento del mezzo pieno ».

E poichè i corpi cadenti liberamente si muovono con tale velocità che non è dato precisare gli spazi da essi percorsi ne' successivi intervalli di tempo, immaginò di farli cadere lunghesso piani inclinati, sui quali il moto riesce tanto meno veloce, quanto minore è il seno dell'angolo d'inclinazione del piano, senza che s'alteri la natura del moto: poichè questo è dovuto a quella componente dell'impulso verticale di gravità, che è parallela al piano stesso (§ 39).

Praticò un incavo semicilindrico, ben liscio, in un'asta lunga circa 7 metri, che teneva inclinata all'orizzonte, e dentro vi lasciava scendere una sfera di bronzo, assai pulita, avente un diametro poco minore di quello dell'incavo; ed intanto, per mezzo delle vibrazioni isocrone d'un pendolo, egli badava per quale tra le divisioni equidistanti, segnate lateralmente al canale, venisse passando la palla nel suo moto di discesa al finire d'ogni vibrazione. In tal modo venne egli a confermare sperimentalmente le seguenti leggi del moto de' gravi, ch'egli aveva già geometricamente dichiarate doversi verificare in un qualunque moto equabilmente accelerato.

Gli spazii percorsi dal grave nelle singole successive unità di

tempo, contate dal principio del moto, crescono in proporzione della serie dei numeri dispari 1, 3, 5, 7, 9, ecc.

Perciò l'aumento (di 2 unità) nello spazio percorso in più da una ad altra successiva unità di tempo è costante, e corrisponde al doppio dello spazio percorso nella 1.^a unità di tempo. Ed è questo costante incremento nello spazio percorso nelle successive unità di tempo che chiamasi *accelerazione* del movimento.

Questa accelerazione chiamasi anche *velocità acquistata* nell'unità di tempo dal corpo cadente, e perciò si potrà pur dire che la velocità di esso, crescendo di quantità eguali in tempi eguali, risulterà per due tempi diversi, contati dal principiare del moto, direttamente proporzionale ai tempi stessi.

Dalla suesposta legge si può dedurre altresì che, considerando nel loro insieme gli spazii di caduta percorsi in tempi diversi, e contando in ogni caso tanto gli spazii quanto i tempi dal principiare del moto stesso di caduta, risultano direttamente proporzionali ai quadrati dei rispettivi tempi :

Tempi	1	2	3	4	5	ecc.
Spazj parziali . .	1	3	5	7	9	ecc.
Spazj totali . . .	1	4	9	16	25	ecc.

Pertanto tutte le leggi, che si possono assegnare per un qualsivoglia moto uniformemente accelerato (§ 24), verificandosi nel moto dei gravi cadenti pei piani inclinati, si dovrà concludere che anco il *moto dei gravi cadenti liberamente è un moto uniformemente accelerato*.

Infatti le predette leggi ponno tutte dedursi dalla definizione di moto uniformemente accelerato, come s'è veduto sopra (§ 23 e 24). E saranno quindi applicabili al moto di gravità le formole ivi trovate pel moto uniformemente accelerato, cioè s'avrà :

$$(33). \quad v = gt \quad \text{ed} \quad s = \frac{1}{2} gt^2,$$

ponendo g l'accelerazione, o l'incremento nella velocità per l'unità di tempo, v la velocità acquistata trascorso il tempo t dal principio del moto.

Queste due equazioni racchiudono tutte le leggi del moto dei gravi cadenti liberamente. Esse indicano chiaramente che *per un grave cadente*: 1.^o *la velocità crescee proporzionalmente al tempo che decorre dal principio del moto*; 2.^o *gli spazii percorsi sono proporzionali ai quadrati dei tempi decorsi dal principiare del movimento*.

Combinando le stesse equazioni così da eliminare g , s'avrà

$$2s = vt,$$

cioè lo spazio percorso da un grave con moto equabilmente accele-

rato in un dato tempo è la metà di quello che in egual tempo percorresida altro mobile con un moto uniforme e colla velocità acquistata dal primo alla fine del tempo medesimo.

Se invece si elimina t , si ottiene

$$(34) \quad v^2 = 2 g s,$$

per mezzo della quale può determinarsi lo spazio s di caduta che deve percorrere un grave per acquistare una data velocità v , quando si conosca g , o reciprocamente si trova v , essendo dato s .

§ 56. Meglio che col piano inclinato di Galileo, si ponno in oggi dimostrare sperimentalmente le leggi di gravità mercè la macchina ideata da Giorgio Attwood sul finire dello scorso secolo.

La macchina di Attwood consiste in una puleggia, sulla cui gola è posto a cavalcioni un filo molto flessibile, che porta ai due estremi due corpi d'ugual peso, i quali stanno in equilibrio in ogni posizione, potendosi trascurare il peso del filo. Per render minimo l'attrito, gli estremi dell'asse della puleggia posano sugli'incrociamenti delle periferie di 4 ruotelle, aventi egual diametro e coi loro assi situati in un medesimo piano orizzontale, intorno ai quali ruotano facilmente. Questo sistema di ruote è sorretto da un piano stabilmente connesso ad una robusta colonna, sorgente perpendicolarmente ad un piano, che si riduce orizzontale mercè viti di pressione. In prossimità della verticale corrispondente al centro di gravità d'uno dei detti pesi è fissata verticalmente un'asta, divisa in centimetri.

Finchè sono eguali le masse pendenti dai due estremi del filo, essendo eguali gli sforzi esercitati da ognuna di esse per far girare la puleggia in verso contrario, esse rimarranno in equilibrio. Ma, tosto si aggiunga un piccol peso ad una di tali masse, l'equilibrio cesserà, movendosi la puleggia nel senso del peso aggiunto, il quale colla propria gravità opererà come forza motrice anche su le due masse equilibrate; però la velocità del moto risultante nel sistema potrà esser ridotta minore della velocità di libera caduta quanto si vorrà, stabilendo un opportuno rapporto fra il peso del sistema ed il peso aggiunto.

Se non fossero l'attrito e l'inerzia delle pulegge e le resistenze del filo e dell'aria, si potrebbe facilmente calcolare quale velocità r acquisterebbe, nell'unità di tempo, il sistema discendente di questa macchina. Sia m la massa addizionale, che determina il moto nel sistema, g l'accelerazione di gravità, e siano $n m$ ciascuna delle masse applicate dapprima al filo, talchè la massa totale del sistema in moto sarà $2 n m + m$. La quantità di moto che produrrebbesi nella massa addizionale, cadendo da sola nell'unità di tempo, dovrà eguagliar quella che si produce col moto del sistema nel tempo stesso.

giacchè in ambedue i casi la forza motrice è sempre la stessa, cioè il peso assoluto della detta massa addizionale. Pertanto dovrà essere:

$$mg = (2nm + m)v,$$

ossia:

$$v : g = 1 : 2n + 1,$$

epperò quanto più grande sarà n , più piccola risulterà v .

Ma gli attriti e le resistenze anzidette producono un rallentamento maggiore di quello così calcolato, come se al filo fosse applicata una massa un po' maggiore dell'indicata: inoltre questo rallentamento varia col mutare della velocità del sistema. Tuttavia, se vuolsi attenuare possibilmente quest'influenza, conviene ridurre al minimo la pressione prodotta dal carico sugli assi delle puleggie, senza diminuire il numero n ; il che ottiensi assumendo assai piccola la massa m del ripetuto peso motore, cosicchè sia poco rilevante il peso totale del sistema in moto, e piccola nondimeno la sua velocità. In tali condizioni si potranno riconoscere con maggior approssimazione le leggi del moto di gravità.

La colonna della macchina porta un pendolo, che batte sentitamente i secondi, e per mezzo di un congegno a snodo vien lasciata libera la massa sovraccennata nell'atto stesso che il pendolo comincia la battuta corrispondente al principio del movimento del sistema. E, per rilevare lo spazio percorso, si pone a conveniente distanza dall'origine della scala, cui corrisponde il punto di partenza della massa discendente, un disco metallico, che si fissa perpendicolarmente alla scala medesima.

Per dimostrare la sovradetta legge che gli spazi percorsi in tempi diversi siano direttamente proporzionali ai quadrati dei rispettivi tempi,

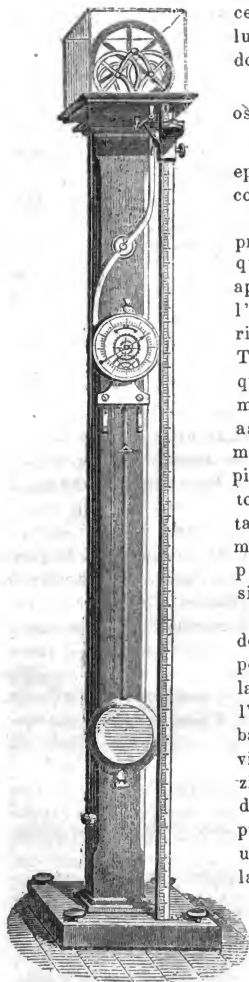


Fig. 30.

ove si continuo e spazi e tempi dal principio del moto, dato il rapporto che vuolsi assumere tra il peso totale applicato agli estremi del filo ed il peso motore, si determina lo spazio s percorso dalla massa discendente in un dato tempo t , indi si fissa il detto disco alla distanza s' dall'origine del moto che soddisfaccia alla relazione:

$$s':s = t'^2:t^2,$$

assumendo per t' un altro opportuno valore per cui s' non trascenda il limite dello spazio disponibile. Ora coll'esperienza si troverà che in tal altro tempo t' la base della massa discendente giungerà assai prossimamente a toccare il detto disco posto in s' .

A dimostrare poi che la velocità cresce proporzionalmente ai tempi trascorsi per acquistarla, si fissa su la scala un anello, sul quale viene a posarsi il peso aggiunto, di figura prismatica, dopo che la massa si è già mossa per 1, 2, 3 battute, ecc., e si pone il disco a tal distanza dall'anello che la massa muoventesi di moto uniforme e colla velocità dianzi acquistata abbia a percorrerla in una battuta. Con che si rileva che una tale distanza riesce rispettivamente 2, 4, 6 volte lo spazio descritto nella prima di dette battute di moto accelerato. E di più si rileva che le velocità acquistate vanno appunto ad ogni battuta ricevendo un incremento costante, corrispondente al doppio dell'or detto spazio: ed è questo il valore dell'accelerazione nella supposta combinazione di masse.

§ 57. Colla macchina di Attwood può verificarsi il principio, già esposto al § 26, che le velocità acquistate da una data massa sotto l'azione di diverse forze motrici son proporzionali alle intensità di queste forze. Basta determinare l'accelerazione relativa a diversi pesi addizionali, per modo però che in ogni caso risulti costante la somma dei pesi collegati coi due capi del filo e costituenti il sistema in moto.

Ora ponendo v e v' le velocità acquistate in t e t' da una data somma di pesi in opera delle forze motrici F ed F' , corrispondenti alla differenza che in ciascuna prova sussiste tra i pesi applicati ai due capi del filo, s'avrà:

$$\frac{F}{v} = \frac{F'}{v'}$$

cioè sarà costante il rapporto fra la forza motrice e la velocità impressa allo stesso corpo.

E poichè denominasi *massa* di un corpo codesto rapporto fra l'intensità di una forza motrice e la velocità che per essa acquista il corpo stesso nell'unità di tempo (§ 21), rapporto che riesce invariato qualunque sia l'intensità della forza motrice, si avrà pure:

$$m = \frac{F}{v} = \frac{F'}{v'}$$

Perciò il medesimo rapporto sussister deve inalterato quando lo stesso corpo (o lo stesso sistema di corpi) venga abbandonato alla libera azione della propria gravità, cioè quando la forza motrice sia il proprio peso assoluto P e sia g la velocità acquistata in $1''$ cadendo liberamente; cioè sarà:

$$\frac{P}{g} = \frac{F}{v},$$

e quindi:

$$(35) \quad \frac{P}{g} = m,$$

chiamandosi appunto *peso assoluto* di un corpo la risultante delle azioni di gravità delle singole sue molecole, ovvero lo sforzo che esso esercita per muoversi come richiede la propria gravità, dirigendosi cioè verso il centro della terra con una data velocità iniziale (a).

Per un altro corpo, il cui peso assoluto sia P' e la massa m' essendo in un dato luogo eguale per tutti i corpi, la velocità g sarà:

$$\frac{P'}{g} = m',$$

e quindi:

$$(36) \quad P : P' = m : m',$$

cioè: i pesi assoluti dei corpi stanno tra loro come le masse relative dei corpi stessi.

Si può dunque valutare la massa relativa d'un corpo per mezzo del rapporto sussistente fra il peso assoluto ch'esso manifesta in un dato luogo e la velocità che ivi esso acquista in $1''$, cadendo liberamente nel vuoto, ovvero si può ammettere in generale:

$$P = m g,$$

cioè esprimere il *peso assoluto* d'un corpo col prodotto della sua massa relativa per l'accelerazione di gravità.

Per *peso relativo* d'un corpo s'intende il rapporto sussistente fra il peso assoluto di esso ed il peso assoluto di quel corpo che è preso per unità dei pesi relativi; talchè il peso relativo d'un corpo esprimerà il numero delle volte che vuolsi prendere l'unità dei pesi per avere il peso assoluto del corpo stesso. Epperò anche *i pesi relativi*

(a) Anche per queste prove viensi a verificare il principio della indipendente coesistenza dei movimenti in un corpo (§ 28), poichè qui si riconosce che, aggiungendo una ad altra piccola unità di peso a costituire la forza motrice F (cioè la eccedenza dell'una massa sull'altra collegate dal filo), ognuna di esse produce un aumento nella velocità acquistata v eguale a quello che produce da sola.

di due corpi saranno direttamente proporzionali ai loro pesi assoluti ed alle loro masse relative.

In una sostanza omogenea presa ad una data temperatura e pressione, cioè in un corpo omogeneo sì per la costituzione chimica che per la mutua distanza delle molecole (§ 22), il peso relativo deve essere proporzionale al volume, ossia il peso dell'unità di volume del corpo stesso dicesi *peso specifico*.

Ora per corpi diversi, ciascuno però omogeneo per sè ed a struttura uniforme, si potrà chiamare *peso specifico relativo* il rapporto fra i pesi assoluti od anche fra i pesi relativi di eguali volumi dei corpi stessi, ovvero della unità di volume di ciascuno di essi. Però onde semplificare e rendere uniforme la determinazione di questo rapporto, si convenne di assumere come termine di confronto pei pesi specifici dei vari corpi quello dell'acqua al massimo di densità (a 4°). Quindi più particolarmente *per peso specifico relativo di un dato corpo s'intende il rapporto fra i pesi assoluti di volumi eguali del corpo stesso e dell'acqua a 4°*: con ciò questo rapporto riesce indipendente dalle unità scelte per i pesi ed i volumi nei vari paesi.

S'è pur veduto sopra (§ 22) che in una sostanza omogenea si può anche ritenere la massa proporzionale al volume V , e porre $m = Vd$, ovvero :

$$(37) \quad d = \frac{m}{V} :$$

però il fattore d , costante per un dato corpo ad una determinata temperatura e pressione, ne rappresenta la densità assoluta; cioè *per densità assoluta di un corpo omogeneo s'intende il rapporto esistente fra la sua massa ed il suo volume*, ovvero la massa di una sua unità di volume.

E poichè in niun modo si può determinare la massa assoluta di un corpo, e solo è dato assegnare le masse relative dei corpi, bisogna limitarsi a considerare i rapporti fra le densità assolute dei vari corpi, assumendo per unità la densità d'un corpo determinato, qual è l'acqua a 4°. Laonde *per densità relativa di un corpo s'intende il rapporto esistente fra la densità assoluta di esso e quella dell'acqua a 4° presa per unità*; ossia *la densità relativa di un corpo esprime il rapporto fra la massa di esso e quella dell'acqua a 4°, sotto volumi eguali*.

Pertanto i concetti di densità relativa e di peso specifico relativo si riferiscono entrambi alla massa relativa dell'unità di volume d'un corpo; ma il primo potrebbesi avere ancorchè i corpi non fossero pesanti, mentre l'altro riposa sul fatto della gravità.

§ 58. Dal precedente rapporto fra il peso assoluto di un corpo e

la sua massa si deduce uno de' più importanti modi per valutare l'efficacia delle forze motrici. Assumendo le due equazioni (35) e (33), ossia le:

$$p = mg \quad \text{ed} \quad s = \frac{1}{2} \frac{v^2}{g}$$

e moltiplicandone i membri corrispondenti, s'avrà:

$$(38) \quad ps = \frac{1}{2} mv^2.$$

Ora, considerata la gravità siccome una forza motrice, la cui intensità corrisponda al peso assoluto del corpo, si può così annunziare la precedente relazione (38): *il lavoro motore effettuato in un dato tempo da gravità in un corpo cadente eguaglia la metà della forza viva da esso guadagnata nel tempo stesso*. Poichè si chiama *lavoro motore* di una forza motrice, effettuato in un dato tempo, il prodotto della forza stessa per lo spazio che essa percorre in tal tempo, e si dice *forza viva* guadagnata o perduta da un corpo in atto di moto vario, in un dato tempo, il prodotto della metà della sua massa pel quadrato della velocità intanto acquistata o perduta.

Così, ad esempio, pel caso considerato al § 44 di una palla lasciata cadere sopra un piano resistente, ponendo m e p la massa relativa ed il peso assoluto di essa, ed s l'altezza di caduta, la velocità v che essa avrà acquistata nell'atto in cui giungerà a toccare il piano, giusta la (34) sarà espressa dalla:

$$v^2 = 2gs;$$

ed il lavoro motore sviluppato colla caduta del corpo stesso mercè la sua gravità sarà espresso da ps , ossia, giusta la (38), la forza viva con ciò acquistata sarà:

$$\frac{1}{2} mv^2,$$

le quali espressioni rappresenteranno la grandezza dell'impulsione che la palla stessa farà contro il piano resistente.

Un'analoga relazione fra lavoro motore e forza viva, come vedremo altrove, si verifica nell'operare di qualsiasi forza applicata ad un sistema che presenti un moto periodicamente variato od anche uniforme.

§ 59. Morin immaginò un altro artificio per determinare sperimentalmente la natura del moto dei gravi cadenti. Un peso metallico, di forma cilindro-conica, cade framezzo a due fili metallici tesi verticalmente, dai quali esso è mantenuto in una costante direzione di caduta: una matita sporgente da esso, diretta normalmente al suo

asse e sospinta da apposito elastro, segna colla sua punta una traccia sovra un foglio di carta per bene avvolto su la superficie d'un cilindro, il quale, per opportuno congegno motore, ruota con moto uni-

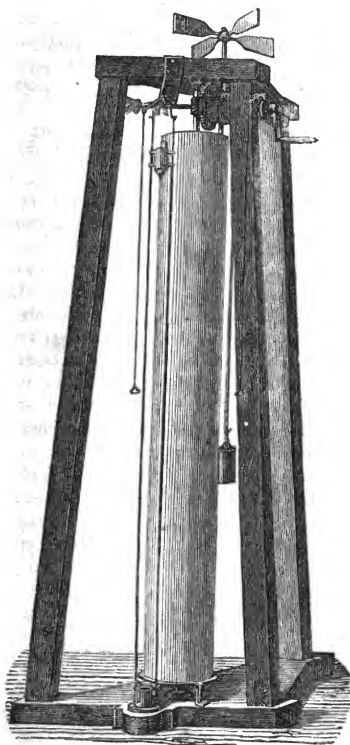


Fig. 31.

forme attorno al proprio asse verticale. Staccando poi il foglio stesso e svolgendolo, trovasi su di esso tracciata una curva, che si riconosce essere una parabola, nella quale le ordinate crescono proporzionalmente ai quadrati delle ascisse, contate queste su la retta

orizzontale che è tangente la curva nel di lei punto d'origine, partendo da questo punto, e contate le ordinate su le generatrici verticali della superficie cilindrica. Ora è chiaro che qui le ascisse rispondono al tempo decorso pel successivo passaggio delle generatrici dalla verticale, segnata dalla matita nella caduta del grave, mentre le ordinate rappresentano gli spazj da questo percorso in que' successivi tempi. Si conferma quindi che gli spazj percorsi dal grave in tempi diversi sono direttamente proporzionali ai quadrati dei tempi stessi.

Moto dei gravi lanciati in alto.

§ 60. Col mezzo della macchina d'Attwood si possono pur facilmente dimostrare le leggi del moto dei corpi lanciati verticalmente in alto.

Si mostra in primo luogo che gli spazj che restano a percorrersi da un corpo lanciato verticalmente in alto, sino alla cessazione del moto ascensivo, sono rispettivamente proporzionali ai quadrati dei tempi che ancor devono trascorrere perchè cessi un tal moto.

Così, per esempio, se gli spazj descritti in ascesa saranno rispettivamente rappresentati da 16, 9, 4, 1, il corpo si muoverà per 4, oppure per 3, per 2, per 1 unità di tempo. A tal uopo si posa una verghetta su un anello corrispondente al filo, che porta la massa ascendente, fissato in conveniente posizione affinchè essa venga da questa sollevata nell'atto stesso che per la massa discendente, togliendosi la forza acceleratrice mercè un altro anello, cessa il moto accelerato e comincia un moto uniforme, per inerzia, il quale opera come una forza che sospinga verticalmente in alto la verghetta posata sul predetto primo anello. Ora, negli accennati singoli casi, tal massa si muoverà in ascesa rispettivamente per 4, 3, 2, ed 1 unità di tempo.

E con ciò rimane altresì dimostrato che: un corpo lanciato verticalmente in alto si ferma dopo un tempo eguale a quello necessario ad acquistare la sua velocità iniziale (cioè la velocità che esso ha al cominciare del moto ascensivo, e che avrebbe manifestata ove si fosse mosso di moto uniforme per un'unità di tempo); e lo spazio percorso sino all'estinzione del moto ascensivo, eguaglia quello che dovrebbe percorrere onde acquistare, cadendo, la sua velocità iniziale.

Volendosi pertanto sospingere un corpo grave ad una data altezza, converrà comunicargli una velocità eguale a quella che avrebbe acquistata cadendo dall'altezza medesima, giovandosi della formola:

$$v^2 = 2gs.$$

Da queste leggi risulta che *il moto de' corpi lanciati vertical-*

mente in alto è uniformemente ritardato, e che la gravità opera in essi come una forza ritardatrice costante.

Le precedenti leggi si ponno rappresentare con queste formole:

$$(39) \quad v = v' - gt \quad \text{ed} \quad s = v't - \frac{g}{2} t^2,$$

dove v' sia la velocità iniziale del corpo grave lanciato in alto e v quella che gli residua trascorso il tempo t . Perchè cessi il moto dovrà essere:

$$v = 0, \quad \text{ossia} \quad v' = gt.$$

Moto oscillatorio dei pendoli.

§ 61. Il valore della accelerazione nel moto di gravità, che sopra notammo colla lettera g , potrebbe essere determinato con qualche approssimazione mediante l'apparecchio di Wheatstone, col quale si può misurare il tempo impiegato da una palla metallica a percorrere, cadendo, una data altezza; e ciò mediante un cronografo, capace di dare i millesimi di $1''$ di tempo, e sistemato per mezzo di una corrente voltiana colle due lamine metalliche che limitano la corsa verticale della palla stessa.

Ma ben più sicuramente e con maggiore approssimazione si può determinare il valore di g mediante il moto oscillatorio di un pendolo.

Chiamasi *pendolo semplice* un istromento ipotetico, consistente in un punto grave, collegato per mezzo d'un filo rigido, inestensibile e non pesante, ad un punto fisso, intorno al quale possa liberamente ruotare, senza provare nè attrito, nè resistenza di mezzo.

Ogni pendolo costruito dall'arte, non potendo soddisfare alle predette condizioni, è chiamato *pendolo composto*. Però, fisicamente può dirsi semplice un pendolo quando consti d'una palla che, sotto piccolo volume, presenti un peso notevole, fatta cioè d'un corpo molto denso (oro, platino), sostenuta da un filo sottile, di scarso peso e non estensibile, ossia già allungato per la tensione prodotta dal peso della palla medesima.

Se si devia alcun poco il pendolo dalla verticale ab recandolo in ac , e poi lo si abbandona a sé, per la propria gravità, discenderà con moto accelerato, descrivendo un arco intorno al punto fisso a ; ma, giunto al punto b il più basso dell'arco (situato sulla medesima verticale del punto fisso, e corrispondente alla posizione di equilibrio quand'è tranquillo), trovandosi animato dalla velocità acquistata nella discesa (correlativa all'altezza della caduta, ossia alla distanza dei due piani orizzontali, corrispondenti l'uno ai punti estremi e l'altro al punto infimo dell'arco cbd , secondo la formola $v^2 = 2gs$), continuerà il

suo moto per la propria inerzia, ascendendo dal lato opposto della verticale sino ad assumere la direzione ad , tanto da estinguere la medesima velocità acquistata, giacchè in tale ascesa la gravità opererà in esso come forza ritardatrice: epperò — come s'è veduto pel moto de' corpi lanciati verticalmente in alto — il peso salirà ad una altezza eguale a quella da cui è caduto per acquistare la medesima

velocità (ancora secondo la formola $v^2=2gs$) con moto ritardato. Dopo di che egli trovasi nelle medesime condizioni di quando veune deviato ed abbandonato a sé, cioè discenderà per l'arco già descritto, con moto accelerato, poi con moto ritardato oltrepasserà la verticale e salirà nuovamente al punto da dove era partito in principio. E così continuerà a muoversi intorno al punto fisso, operando alternativamente la gravità, or come forza acceleratrice ed ora come forza ritardatrice; anzi continuerebbe indefinitamente, qua-

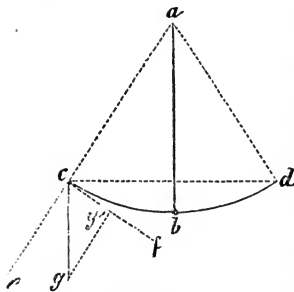


Fig. 32.

lora fosse tolta ogni resistenza del mezzo.

Un siffatto moto di ascesa e discesa del pendolo chiamasi *movimento oscillatorio* o *pendolare*; il tempo t impiegato a percorrere l'intero arco *durata di una oscillazione*; la grandezza cbd dell'arco descritto *ampiezza della oscillazione*, e la distanza ab del punto materiale dal punto di sospensione *lunghezza del pendolo*.

È pur facile rilevare che la forza sollecitante il pendolo a muoversi varia continuamente da uno ad altro punto dell'arco descritto e che è sempre data dal valore della componente tangenziale l'arco stesso ne' singoli punti. Quando, ad esempio, il pendolo tiene la posizione ac , il peso assoluto di esso, che supporremo rappresentato dalla cg , può immaginarsi decomposto in due sforzi, l'uno diretto secondo il prolungamento della ac , il quale sarà interamente vinto dalla resistenza alla tensione del filo, e l'altro diretto secondo la cf tangente l'arco nel punto c , il quale sarà tutto efficace a continuare il moto del punto c per l'arco stesso ca . La grandezza relativa di questo sforzo ottiensi guidando per g la parallela alla ce sino ad incontrare la cf , cioè la cg' sarà la misura della componente tangenziale, poichè nel triangolo cgg' le cg' e gg' rappresentano due sforzi, i quali, insieme presi, equivalgono a quello rappresentato dalla cg (§ 28): ora è evidente che, ripetendo un'analogha costruzione per i varj punti dell'arco ca , lo sforzo tangenziale, analogo al cg'

diverrà man mano minore coll'accostarsi del punto grave alla verticale ab ; dove giunto, riducesi nullo lo sforzo tangenziale, mentre l'altro, diretto secondo il prolungamento del filo, trovandosi nella stessa verticale di sospensione, equivarrà per sè solo al peso assoluto del punto stesso, e sarà interamente vinto dalla tensione del filo.

§ 62. Nella meccanica razionale si dimostra che la durata t d'una mezza oscillazione (a) di un pendolo semplice di lunghezza l , oscillante in tal luogo, ove l'accelerazione di gravità sia g , è esprimibile colla seguente relazione:

$$t = \pi \sqrt{\frac{l}{g}} \left[1 + \frac{1}{4} \sin^2 \frac{\alpha}{2} + \dots \right],$$

oppure:

$$t = \pi \sqrt{\frac{l}{g}} \left[1 + \frac{1}{4} \frac{\alpha^2}{l^2} + \frac{9}{64} \left(\frac{\alpha}{2l} \right)^2 + \dots \right]$$

ove α indica l'angolo formato dall'asse del pendolo colla verticale di sospensione quando questo è al massimo di deviazione, ed α l'altezza, rispetto alla posizione d'equilibrio, del centro di massa del pendolo quando giunge ai punti estremi dell'arco descritto (b).

Però ogni volta che quest'angolo sia minore di 2° , ponno trascurarsi, senza riflessibile errore (c), i successivi termini del secondo membro delle predette equazioni, assumendone soltanto il primo, ritenendo cioè:

$$(40) \quad t = \pi \sqrt{\frac{l}{g}}.$$

Ed, analogamente, per un altro pendolo, poste l_1 , t_1 e g_1 la lunghezza, la durata d'un'oscillazione e l'accelerazione di gravità, si avrà:

$$t_1 = \pi \sqrt{\frac{l_1}{g_1}},$$

e quindi combinando queste due equazioni:

$$(41) \quad t : t_1 = \sqrt{\frac{l}{g}} : \sqrt{\frac{l_1}{g_1}}.$$

(a) Chiamasi anche *vibrazione semplice* d'un pendolo l'arco da esso descritto da una sola banda della verticale di sospensione, cioè la metà d'una intera sua oscillazione.

(b) Il rapporto $\frac{\alpha}{2l}$ della seconda equazione corrisponde al seno-verso dell'angolo $\frac{\alpha}{2}$.

(c) Posta 1 la durata d'una vibrazione semplice per un arco infinitamente piccolo, per archi corrispondenti a 5° ed a $20^\circ 30'$ la durata di una mezza oscillazione diventa rispettivamente 1,00012 ed 1,0003.

Ora se $g_1 = g_1$ s'avrà:

$$t : t_1 = \sqrt{l} : \sqrt{l_1}$$

E se $l_1 = l_1$ s'avrà invece:

$$t : t_1 = \sqrt{g_1} : \sqrt{g_1}$$

Le quali relazioni significano le seguenti leggi: *che le durate delle oscillazioni dei pendoli sono direttamente proporzionali alle radici quadrate delle rispettive loro lunghezze, se vibrano in uno stesso luogo, e sono inversamente proporzionali alle radici quadrate delle accelerazioni di gravità, se hanno lunghezze eguali e vibrano in luoghi differenti.*

Se ne deducé altresì che su questa durata non ha influenza la particolare natura fisica e chimica del corpo oscillante, cioè riusciranno tra loro isocroni pendoli formati con corpi qualsivogliano, purché abbiano lunghezze eguali, e vibrino in uno stesso luogo.

Indicando poi con n ed n_1 i numeri delle oscillazioni fatte da due pendoli in uno stesso tempo T , cosicchè abbiansi $nt = T$ ed $n_1 t_1 = T$, s'avrà pure:

$$n : n_1 = t_1 : t$$

cioè: i numeri delle oscillazioni, fatte in equal tempo da due pendoli, sono inversamente proporzionali alle durate delle rispettive oscillazioni.

E quindi mercè la (41), s'avrà pure:

$$n^2 : n_1^2 = \frac{l}{g_1} : \frac{l}{g_1}$$

cioè: i quadrati dei numeri delle oscillazioni fatte in un dato tempo da due pendoli sono direttamente proporzionali alle accelerazioni di gravità, ed inversamente proporzionali alle rispettive lunghezze.

Per contare con precisione il numero delle oscillazioni fatte in un tempo abbastanza lungo da un pendolo, che s'accosta alle condizioni d'un pendolo semplice, giova il metodo delle *coincidenze* di Borda. Questo pendolo è portato da robusto telaio in ferro nell'interno della cassa d'un orologio a secondi, la cui asta porta una riga verticale tracciata sovra un rettangololetto bianco. Un cannocchiale fissato di contro a tale mira, quand'essa passa per la verticale corrispondente all'asse di sospensione, serve ad osservare i passaggi così del filo del pendolo, come della detta riga dell'orologio per il campo visivo. Ora se, ad esempio, la durata t dell'oscillazione del pendolo sarà di poco minore della durata d'una oscillazione dell'orologio, e supponiamo che in un certo istante si osservino sovrapporsi le immagini del filo e della riga, accadrà di poi che il filo passerà prima della

riga e mano mano con maggiore anticipazione, sino a che si avrà una nuova coincidenza, quando però nell'intervallo di tempo il pendolo avrà fatta una oscillazione in più di quelle fatte dall'orologio: e così per ogni successiva coincidenza. Cosicché, posto m il numero delle coincidenze osservate nel mentre l'orologio fece un numero n di oscillazioni, indicate queste dal quadrante dell'orologio stesso, potrà dirsi che il pendolo avrà fatte $n+m$ oscillazioni, e che la durata d'una oscillazione sarà:

$$t = \frac{n}{n+m}.$$

Galileo sino dal 1582 riconobbe sperimentalmente codeste leggi del moto oscillatorio; ma fu Huygens nel 1673 il primo a dare una esatta teorica del moto dei pendoli (a).

§ 63. Ora diremo come si valuti la lunghezza di un pendolo composto. Si immagini un pendolo costituito da due punti materiali B ed A, riuniti da un filo inflessibile e non pesante, oscillante intorno al punto fisso C. Dietro il suindicato rapporto fra la durata delle oscillazioni di un pendolo e la sua lunghezza, è evidente che qualora i punti B ed A si muovessero separatamente intorno al punto C, il B, come più vicino, farebbe in un dato tempo un numero di oscillazioni maggiore di quelle fatte in egual tempo da A, in proporzione della radice quadrata delle distanze CA e CB. Ma dovendo tali punti



Fig. 34.

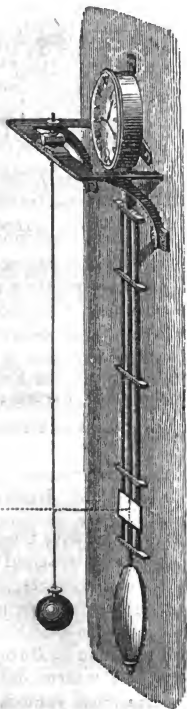


Fig. 33.

muoversi in accordo, perchè rigidamente sistemati dal filo che li congiunge, dovrà il punto B perdere della propria velocità, mentre ne guadagnerà il punto A, per modo che

(a) Ne'Saggi di Naturali Esperienze degli Accademici del Cimento, si dice: Galileo aver pel primo immaginato di applicare il pendolo all'orologio, onde il peso avesse a cader sempre dalla medesima altezza e si mantenesser sempre

il rallentamento del primo compensi esattamente l'acceleramento dell'altro. Quindi la velocità del pendolo composto risulterà per una parte minore di quella del pendolo semplice CB e d'altra parte maggiore di quella del pendolo CA. Frammezzo a queste due posizioni esisterà un punto D che non sarà accelerato nè ritardato, cioè oscillerà come se non fosse collegato col resto del sistema rigido, oppure anco esso avrà una velocità corrispondente a quella d'un terzo pendolo semplice avente la lunghezza CD, compresa fra quelle de' pendoli CB e CA. È questa lunghezza d'un pendolo semplice, isocrono col pendolo composto, che si assume per lunghezza del pendolo composto medesimo; e riportando siffatta lunghezza sul pendolo composto partendo dal punto di sospensione, si ha all'altro estremo quel punto che chiamasi *centro di oscillazione* del pendolo composto (a).

Pertanto il centro di oscillazione d'un pendolo composto corrisponde a quel punto nel quale si devono supporre concentrate le masse di tutte le parti che lo costituiscono, affinché il pendolo semplice che ne risulterebbe abbia a fare oscillazioni isocrone con quelle del pendolo composto. È evidente che quand'anche il pendolo composto constasse d'una sfera di densità omogenea, il centro di oscillazione non coinciderebbe col centro di figura, attesochè le durate delle oscillazioni non sono proporzionali alle semplici distanze de' singoli punti pesanti dal punto di sospensione, ma bensì alle radici quadrate delle distanze medesime.

Questo punto si può determinare teoricamente dietro alcune considerazioni di meccanica astratta. Ma praticamente suolsi determinare la lunghezza d'un pendolo composto, facendolo oscillare contemporaneamente ad un pendolo che molto s'accosti alle condizioni d'un pendolo semplice, ed accorciando od allungando questo, finchè si riscontrino isocrone le loro oscillazioni, computate per lunga durata di tempo: e la risultante lunghezza del pendolo semplice si assume per lunghezza del pendolo composto.

Il centro d'oscillazione d'un pendolo composto ha la singolare pro-

eguali i tempi delle vibrazioni, e che però Vincenzo Galilei, suo figliuolo, fu il primo che nel 1649 mettesse in pratica un tal pensiero. Huygens applicò il pendolo come regolatore agli oriuoli nel 1657, e nel 1675 applicò la molla a spirale agli orologi da tasca.

(a) Un pendolo composto ordinario è costituito da un'asta pesante, sorreggente una massa considerevole, forgiata a lente. In tal caso esisterà una serie di punti equidistanti dall'asse di sospensione, i quali oscilleranno con quella medesima velocità che avrebbero ove non fossero collegati col resto del sistema, e questi punti costituiscono l'*asse di oscillazione*, parallelo all'asse di sospensione.

prietà che, capovolgendo il pendolo e fissando lo stesso centro di oscillazione al punto di sospensione, in modo che il pendolo ruoti intorno ad esso, risultano eguali le durate delle oscillazioni a quelle che il pendolo stesso mostrava nella precedente disposizione (a).

Però le leggi del moto d'un pendolo semplice saranno pur applicabili al moto d'un pendolo composto, purchè si assuma per lunghezza di questo la distanza del suo centro d'oscillazione dal punto di sospensione.

Differenze nella gravità su la terra.

§ 64. La precedente relazione porge sicuro modo per determinare l'accelerazione di gravità, poichè da essa si ritrae:

$$g = \pi^2 l,$$

quando si supponga $t=1$, cioè quando l sia tale che il pendolo compia un'oscillazione semplice nella unità di tempo. Questa sarà per

noi il minuto secondo di tempo medio, cioè $\frac{4}{86400}$ del giorno solare

del medio, oppure $\frac{4}{86164}$ del giorno sidereo (§ 16).

Per brevità si dice essere un *pendolo a secondi*, quando la durata d'una sua oscillazione corrisponde all'unità di tempo, cioè ad 1".

Però non occorre di determinare direttamente la lunghezza l del pendolo semplice a secondi in un dato luogo; basterà contare il numero n di oscillazioni fatte in un qualsivoglia tempo T da un pendolo semplice di qualsiasi lunghezza l' , poichè si avrà la durata t' di una oscillazione dalla:

$$n t' = T,$$

e quindi dalla:

$$l t'^2 = l'$$

si trae il valore di l .

Così procedendo si è potuto riconoscere che la lunghezza l del

(a) Il prof. Govi ha immaginato un artificio assai semplice, per cui si ottiene di determinare la lunghezza del pendolo a secondi mercè la misura, fatta col catetometro, di piccoli spostamenti che successivamente si producono in una massa che può fissarsi in diversi punti della lunghezza di un'asta rigida, e la determinazione delle durate d'oscillazione corrispondenti alle singole posizioni della massa medesima. E così può ottenersi con grandissima approssimazione il ricercato valore della lunghezza del pendolo stesso.

pendolo a secondi varia colla latitudine dei luoghi, pur supponendo questi a livello del mare, e che però essa è esprimibile in generale da una relazione della seguente forma :

$$(42) \quad l = a + b \operatorname{sen}^2 \lambda,$$

oppure dalla equivalente :

$$(43) \quad l = c - d \cos 2 \lambda,$$

avendosi :

$$\operatorname{sen}^2 \lambda = \frac{1 - \cos 2 \lambda}{2},$$

ove a b c e d sono costanti da determinare e λ l'angolo che esprime la latitudine del luogo (a).

Per determinare a e b , si osservi che per $\lambda = 0^\circ$, cioè all'equatore, la lunghezza del pendolo a secondi l_0 sarà :

$$l_0 = a,$$

e che per $\lambda = 90^\circ$, cioè ad un polo, l'analogha lunghezza l_p sarà :

$$l_p = a + b,$$

e quindi :

$$b = l - l_0.$$

E, ponendo $d = \frac{b}{2}$ e $c = a + d$, dalla (40) si trae per $\lambda = 45^\circ$, che

la lunghezza l_m del pendolo a secondi sarà :

$$l_m = c = a + \frac{b}{2}.$$

A conferma e schiarimento di ciò ricordiamo le lunghezze del pendolo semplice a secondi, espresse in millimetri, quali risultarono

(a) Ritenuta la superficie della terra rappresentata da quella delle acque, che in gran parte la ricoprono, estesa anche attraverso alla parte solida, senza modificarne la curvatura, si può dire che la latitudine di un individuato punto terrestre corrisponde all'angolo che misura l'altezza del polo celeste su l'orizzonte del luogo stesso, ovvero al complemento dell'angolo che misura la distanza del detto polo dallo zenit del luogo. La distanza poi del polo celeste dallo zenit d'un luogo si trova mercè la semisomma delle distanze zenitali di una data stella circumpolare nei suoi due passaggi pel meridiano del luogo stesso. Ed infine il meridiano d'un luogo è determinato colla norma che esso deve dividere per metà i paralleli descritti dalle stelle circumpolari, le quali perciò dovranno passare ad eguali intervalli di tempo pel medesimo meridiano, superiormente ed inferiormente al polo celeste.

dalle osservazioni fatte in luoghi aventi latitudini diverse, ridotte però col calcolo a 0° ed a livello del mare.

STAZIONI	Latitudine	Lunghezza
Spitzberg	79. 50 N.	996, 04
Hammerfest	70. 40 »	995, 53
Drontheim	63. 26 »	995, 01
Leith	55. 59 »	994, 53
Parigi	48. 50 »	993, 87
Milano	45. 28 »	993, 55
Barcellona	41. 23 »	993, 23
Lipari	38. 29 »	993, 08
Is. Mowi	20. 50 »	991 77
Trinità	10. 39 »	991, 06
Rawah	0 2 S.	990, 95
Bahia	12. 59 »	991, 22
Rio Janeiro	22. 58 »	991, 69
Capo B. Speranza	33. 55 »	992, 64
» Horn	55. 51 »	994, 62
N. Shetland	62. 56 »	995, 23

§ 65. Dalle precedenti relazioni, ritenuta la :

$$g = \pi^2 l,$$

si può desumere che, analogamente, la variazione nella gravità colle latitudini sarà esprimibile da :

$$(44) \quad g = a + b \operatorname{sen}^2 \lambda,$$

ossia da :

$$(45) \quad g = c - d \cos 2 \lambda.$$

All'equatore si avrà $g_0 = a$; al polo $g_p = a + b$, ed alla latitudine di 45° :

$$g_m = c = a + \frac{b}{2}.$$

I suesposti valori di l mostrano però che nell'emisfero boreale la influenza delle latitudini sulla gravità è un po' diversa che nell'emisfero australe, e che, procedendo dall'equatore alla latitudine media di 45°, la gravità cresce meno sentitamente di quel che faccia da 45° a 90°. Perciò, tenuto conto dell'insieme dei dati per ciascun emisfero, se ne deducono le seguenti espressioni approssimate della gravità relativa :

$$(46) \quad g = 9^m, 78104 + 0^m, 05095 \operatorname{sen}^2 \lambda,$$

la quale può giovare per località poco discoste dall'equatore o per latitudini molto elevate:

$$(47) \quad g = 9^m, 80556 - 0^m, 02642 \cos^2 \lambda,$$

ove λ sia compreso fra 45° e 90° nell'emisfero boreale, e

$$g = 9^m, 80556 - 0^m, 02453 \cos^2 \lambda,$$

se λ è compreso fra 45° e 0° .

Secondo questi dati si ha, in metri:

$$g_o = 9,78104; g_m = 9,80556; g_p = 9,83199$$

e quindi la totale variazione della gravità a livello del mare, cioè $p - g_o = 0^m, 05095$, corrisponderà a:

$$\frac{g_p - g_o}{g_o} = \frac{1}{192} g_o$$

oppure:

$$\frac{g_p - g_o}{g_m} = \frac{1}{192,5} g_m$$

secondo che la si riferirà al valore della gravità stessa all'equatore od a 45° .

E poichè si è visto sopra (§ 55) che l'accelerazione g corrisponde al doppio dello spazio percorso nella prima unità di tempo da un grave cadente liberamente, alla latitudine media si avrà $s = 4^m, 90278$; col quale valore si può calcolare vuoi lo spazio percorso in un qualsiasi tempo, vuoi la velocità acquistata da un grave cadente percorrendo un dato spazio di caduta, ritenuta però trascurabile la resistenza del mezzo.

Anche il peso assoluto (§ 57) di un dato corpo dovrà variare con egual misura da una ad altra latitudine, essendo $P = m g$. Perciò un corpo, che all'equatore offrisse il peso assoluto unitario, alla latitudine di 45° peserebbe 1,0025 ed al polo 1,0052, determinandosi però codesto peso con un dinamometro ad elastro. Lad dove colla bilancia non s'avrebbe indizio di questa variazione, poichè varierebbero con egual misura i pesi assoluti dei corpi posti ad equilibrarsi sui due gusci della bilancia.

§ 66. La or trovata variazione totale della gravità dipende da due cause: dalla forza centrifuga provocata dal moto diurno della terra, e dalla diversa lunghezza dei raggi terrestri a differenti latitudini (a).

(a) In fatto queste due cause risultano collegate tra di loro, poichè il rigonfiamento equatoriale della terra è una dipendenza del moto rotatorio della terra stessa, cioè della arrendevolezza delle sue parti all'azione della forza centrifuga.

L'influenza della prima di codeste cause può determinarsi mercè la seguente formola del § 47:

$$c = m \frac{v^2}{r},$$

che esprime la grandezza della forza centrifuga c provocata in un corpo di massa m che si move percorrendo colla velocità v una curva, il cui raggio di curvatura sia r . Nel caso che il corpo percorra con moto uniforme la circonferenza d'un cerchio, impiegandovi il tempo t , si avrà:

$$v = 2 \frac{\pi r}{t},$$

e quindi la precedente darà:

$$c = 4 \frac{\pi^2 r}{t^2},$$

ritenuto $m = 1$.

Ora, ogni punto della terra ruota attorno all'asse con moto uniforme, descrivendo un'intera circonferenza nella durata d'un giorno sidereo: epperò all'equatore, a livello del mare, essendo $v = \text{met. } 465,04$ (§ 16), la forza centrifuga c_0 sarà quivi $c_0 = 0^m, 033912$. Perciò:

$$\frac{c_0}{g_m} = \frac{1}{289,15} g_m,$$

ossia la detta variazione della gravità dal polo all'equatore è per circa due terzi prodotta dal moto rotatorio della terra.

Per qualunque altra latitudine λ il raggio r_p del corrispondente circolo parallelo è dato dalla:

$$r_p = r' \cos \lambda,$$

posto r' il raggio terrestre corrispondente alla latitudine stessa. Per le latitudini poco differenti da 45° , a livello del mare, può ritenersi $r' = \text{met. } 6366753,5$ e quindi:

$$c = 0^m, 033855 \cos \lambda.$$

§ 67. L'altra causa della variazione nella gravità terrestre sta nella diversa distanza cui si trovano dal centro della terra i corpi cadenti alla superficie di essa, in riguardo alla varia lunghezza dei raggi terrestri. Questa influenza è analoga a quella che si verifica per i corpi situati a diverse altitudini sul livello del mare. Quest'ultima è facile ad esprimersi, ritenuta la legge di Newton che la gravitazione reciproca per masse eguali situate a diverse distanze sia, come

diremo innanzi, inversamente proporzionale ai quadrati delle distanze stesse, poichè si avrà:

$$(48) \quad g' = g \frac{r^2}{(r+a)^2},$$

la quale dà approssimativamente:

$$g' = g \left(1 - \frac{2a}{r} \right),$$

dove siano rispettivamente g la gravità al livello del mare là ove il raggio terrestre sia r' , e g' la gravità all'altezza a sullo stesso livello.

Però, se il punto elevato che si considera, in luogo di sorgere isolato al di sopra del mare o di una bassa e vasta pianura, è situato su di un altipiano o di una regione estesamente montuosa, si potrà ritenere il coefficiente 1,25 in luogo del 2, che sopra è posto a fattore di a .

Ora, secondo le determinazioni fatte nella misura di parecchi archi di meridiano, sono emersi i seguenti valori pei raggi terrestri a diverse latitudini:

$$r_0 = 6377398^m, 1;$$

$$r_m = 6366753^m, 5;$$

$$r_p = 6356079^m, 9.$$

Dai quali dati risulta che lo schiacciamento della terra, cioè $\frac{r_0 - r_p}{r_0}$, corrisponde ad $\frac{1}{299,15} r_0$, il quale è pressochè eguale a quello dedotto da Laplace dalle ineguaglianze nel moto della luna, dietro le osservazioni di Burckhardt e Bouvard.

Volendosi poi determinare il raggio r della terra in corrispondenza ad una latitudine λ ed al livello del mare, si può assumere la relazione.

$$r^2 = \frac{a^2 b^2}{a^2 \sin^2 \lambda + b^2 \cos^2 \lambda},$$

posto $a = r_0$; $b = r_p$, come sopra.

Dal qual valore può altresì dedursi il raggio r_p del circolo parallelo corrispondente, mercè la:

$$r_p = r \cos \lambda.$$

Prove del moto rotatorio terrestre.

§ 68.* L'or indicata variazione della gravità colle latitudini, e la stessa figura ellissoidica della superficie terrestre, nel mentre attestano l'operare della forza centrifuga, ponno ritenersi quali prove fisiche del moto rotatorio del nostro pianeta.

Sonvi però altre osservazioni che si possono citare quali prove fisiche di codesto movimento, e che pur meritano d'essere ricordate. Tali sono:

1.^a La deviazione d verso oriente che presentano i gravi, pur cadendo liberamente, giusta la formola:

$$d = \frac{2}{3} \sqrt{2 \frac{2\pi}{t} \cos \lambda} / a^3 (1 - 0,01786 m^2 a^2 + \text{ecc.}),$$

ove t è la durata della rotazione terrestre, a l'altezza del punto di partenza sul punto d'arrivo del grave cadente, ed m la forza ritardatrice su di esso esercitata dall'aria.

Tadini (1795) istituì in Bergamo un'accurata serie di 143 esperimenti, per medio de'quali trovò $d = \text{mill. } 2,0370$; mentre la formola precedente, essendo $\lambda = 45^\circ. 44'$ ed $a = \text{met. } 25,987$, dà $d = \text{mill. } 2,0304$; epperò il sufficiente accordo fra il dato sperimentale ed il dato teorico conferma quest'ultimo.

Analoghi esperimenti vennero fatti da Reich a Freyberg entro un pozzo di miniera, essendo $a = \text{met. } 158,5$ $\lambda = 50^\circ. 55'$. Per medio di 106 sperimenti ottenne $d = \text{mill. } 28, 196$, mentre col calcolo s'avrebbe $d = \text{mill. } 27,512$.

2.^a L'apparente deviazione da oriente verso occidente del piano di oscillazione d'un pendolo libero rispetto al sottostante suolo, osservata dagli Accademici del Cimento (α), ed interpretata e confermata da Foucault (1851). Cotesta deviazione angolare D in $1''$, astrazione fatta dall'influenza diretta della forza centrifuga, è espressa da:

$$(49) \quad D = \frac{360 \times 60 \times 60}{86164,09} \sin \lambda = 15'', 04' \sin \lambda.$$

In un'ora corrisponderà a $15^\circ, 041 \sin \lambda$. È chiaro che all'equatore

(α) Esatta è la seguente descrizione del fenomeno, veduto nel nostro emisfero, quale ci fu tramandata da Viviani, segretario della detta Accademia « osservammo che tutti i pendoli da un solo filo deviano dal piano verticale, e sempre per il medesimo verso, cioè secondo le linee da destra verso sinistra delle parti anteriori. »

sarà nulla, ed andrà crescendo sino al polo, dove, in un'ora, corrisponderebbe appunto a $15^{\circ},041$.

Però, grazie alla forza centrifuga, cotesta deviazione apparente, come osservarono Marignac e Wartmann (1851) a Ginevra, riesce meno rapida di quella così calcolata, se il pendolo oscilla dapprincipio nel piano meridiano del luogo, e riesce invece più rapida, se esso parte dal piano parallelo. Per Ginevra, essendo $\lambda = 46^{\circ} 12'$, a descrivere un arco di 25° secondo la formola precedente, dovevansi impiegare $2^{\text{h}},309$: sperimentalmente quest'arco fu descritto invece in $2^{\text{h}},351$ ed in $2^{\text{h}},110$, secondo che il pendolo inizialmente era disposto secondo il meridiano o secondo il parallelo, e ciò a motivo della forza centrifuga, una componente della quale tendeva a spingere il pendolo verso l'equatore. Questi due fatti sono dunque connessi naturalmente la una medesima causa, il moto rotatorio della terra.

3.^a Un corpo, sospeso in modo da potersi liberamente dirigere in ogni verso, come nel *giroscopio* di Foucault (1851), se vien animato da un rapido moto di rotazione, appar girare a seconda del moto apparente delle stelle, appunto perchè esso, per inerzia, conserva inalterata nello spazio la direzione del proprio asse di rotazione. Se il corpo ruotante ha il suo asse obbligato a mantenersi in un piano orizzontale, libero però di dirigersi in questo, l'asse stesso tende a ridursi nel piano meridiano del luogo, e disposto in modo che il corpo giri nello stesso senso del globo. Se infine il corpo ruotante ha l'asse obbligato a mantenersi nel piano meridiano, libero però di dirigersi in questo, l'asse stesso tende a ridursi parallelo all'asse terrestre, disposto in modo che il corpo giri nel medesimo senso della terra (a).

4.^a Anche i venti alisei servono a provare direttamente la rotazione della terra. Se la terra non ruotasse, l'alto calore dell'aria sovrastante alla zona torrida produrrebbe, nell'alto dell'atmosfera, una corrente d'aria calda, diretta dall'equatore ai poli, e resa continua mercé una corrente d'aria fredda che, nel basso dell'atmosfera, procederebbe dai poli verso l'equatore: quindi nell'emisfero boreale la corrente bassa sarebbe diretta da N a S e la superiore da S a N, e nell'emisfero australe sarebbe opposto al precedente il movimento delle due correnti. Invece, grazie al moto rotatorio da O ad E, le molecole d'aria nel passare da un parallelo all'altro, secondo che

(a) Ricorrono qui due principii di meccanica: quello della composizione dei moti rotatorii coesistenti in un dato corpo (§ 45), ed il principio della tendenza a ridursi paralleli tra loro i diversi assi dei moti relativi di rotazione sussistenti nelle varie parti d'un sistema. Di quest'ultimo principio occorrerà di parlare altrove.

vi arrivano con una velocità di rotazione maggiore o minore di quella corrispondente al punto d'arrivo, sembreranno sospinte nel verso stesso od in verso contrario a quello della rotazione. Quindi, componendosi i due movimenti, nell'emisfero boreale, la corrente superiore muoverà da SO e la inferiore da NE; e nell'altro emisfero la superiore da NO e la inferiore da SE. Dove poi s'incontrino le due correnti inferiori di NE e SE, ancora pel comporsi de' due moti, s'avrà una corrente dominante da E ad O. Ora le osservazioni sui venti regolari, detti *alisei*, dimostrando appunto la sussistenza di cosiffatte correnti, confermano la rotazione terrestre da O ad E.

Prove della gravitazione universale.

§ 69.* Il fenomeno del flusso e riflusso de' mari chiarisce che *la gravità s'estende ai corpi celesti.*

Pur ne' tempi calmi vedonsi le acque del mare sollevarsi ed invadere le spiagge per la durata di circa 6 ore, giungendo ad una certa altezza, alcun po' variabile, cui si mantengono per alcuni istanti, poi tornano ad abbassarsi per circa 6 ore, abbandonando le sponde, e scendendo tanto più quanto di più si elevarono; e questa serie di moti periodici di elevamento ed abbassamento, che diconsi *flusso e riflusso*, od *alta e bassa marea*, si riproduce ogni dì. L'intervallo di tempo, fra due successivi flussi non è sempre eguale, il suo valore medio è di 12.^h 25', e l'intera durata di due consecutive maree (due flussi e riflussi) è di 26.^h 50', che corrisponde al tempo impiegato dalla luna a compiere un intero giro apparente intorno alla terra, ritardando essa ogni dì sul moto delle stelle di 52'. 42'' (al giorno sidereo di 23.^h 56'. 4'' aggiungendo 52'. 42'' si ha 24.^h 48' 46''). L'alta marea si verifica poco dopo che la luna passò per il meridiano; la bassa poco dopo che essa se ne è discostata di 90°, ossia quando passa sotto l'orizzonte. Le più alte maree succedono poco dopo che la luna fu in opposizione od in congiunzione col sole (plenilunio o novilunio), e all'opposto le più basse maree avvengono poco dopo le quadrature.

Si supponga tutta la terra rivestita da uno strato di acqua. Quando la luna passerà per un meridiano, nelle acque sottostanti scemerà il peso, gravitando anche verso di essa, epperò si eleveranno alcun poco al disopra del livello normale. E in pari tempo le acque diametralmente opposte, provando meno energica la gravitazione verso la luna, attesa la maggiore loro distanza, appariranno elevarsi ancor esse sul livello del globo, perchè il centro di questo si abbassa, lasciandole in addietro. Le acque invece situate all'orizzonte si deprimeranno, convergendo per esse la gravitazione lunare colla terrestre. In causa

dunque dell'accennata diminuzione di peso da una parte e dall'altra dello sferoide terrestre, due masse d'acqua, in forma di montagne liquide opposte, seguiranno la luna nel suo moto apparente, e percorreranno la superficie del globo colla rotazione diurna di questo, anzi compiranno un'intera rotazione, intanto che la luna ripasserà per il meridiano, cioè in poco meno di 25 ore.

Ora è chiaro che, in questo intervallo di tempo, le acque in ogni punto della superficie terrestre si troveranno per due volte nelle predette condizioni, cioè si verificheranno per esse due maree, ossia due flussi e due riflussi. Ma, muovendosi il globo nella direzione da occidente ad oriente, ne verrà che le diverse molecole d'acque giungeranno ad avere la massima distanza dal centro della terra non già quand'esse s'accosteranno al raggio vettore (la retta condotta dal centro della terra al centro della luna), ma qualche tempo dopo, a cagione che esse si prestano con qualche lentezza ad assumere le variabili posizioni che loro assegna la variabile intensità della risultante della loro gravitazione verso il centro della terra e verso quello della luna.

Ma anche il sole deve esercitare la sua azione su questo fenomeno. Esso tenderà a sollevare i mari a mezzogiorno ed a mezzanotte (suoi passaggi pel meridiano), e all'incontro li farà abbassare quand'è all'orizzonte, cioè al levare ed al tramontare del sole. In astratto vi saranno dunque quattro maree ogni giorno, due prodotte dalla luna e due dal sole. Ma in fatto, nell'epoca delle sizigie, cospirando le azioni dei due astri, queste maree si ridurranno soltanto a due, la cui grandezza sarà la somma dei due effetti. Nelle quadrature, le direzioni delle due forze essendo tra loro perpendicolari, ciascuna otterrà intero il proprio effetto, ossia avran luogo le maree solari e le lunari, come se ciascuna si effettuasse separatamente. Se non che l'alta marea lunare effettuandosi ove la luna è al meridiano, e coincidendo in quel punto la bassa marea solare (trovandosi il sole a 90° dal meridiano), la marea effettiva sarà la differenza delle due maree parziali; e quindi la più debole marea si avrà nelle quadrature. La luna ha una massa molto minore di quella del sole, ma il suo effetto sulle acque terrestri riesce, secondo i computi di Laplace, nel rapporto di 2,05: 1, rispetto a quello del sole, a motivo che essa ci è circa 400 volte più vicina di questo, e che l'azione decresce come i quadrati delle distanze: epperò la luna può considerarsi come la causa principale del fenomeno delle maree, e sembra dirigerne i periodi.

L'intensità delle maree varierà ancora col variare delle distanze della luna dalla terra; ossia sarà maggiore quando la luna è perigea, e minore quand'è apogea. La poca eccentricità dell'orbita terrestre

rende quasi insensibile la variazione delle maree colle distanze solari. Le azioni del sole e della luna variano ancora per le loro declinazioni, cioè decrescono coll'aumentare di queste. Così, per riguardo al sole, le maree sono più grandi nell'epoca degli equinozii, e massime quando questi avvengono in coincidenza d'una sizigia. Per tutto ciò la marea sarà minima nelle quadrature se la linea è apogea, sarà massima nelle sizigie colla luna perigea.

Si è detto che le due montagne liquide producenti le maree hanno un asse che non coincide col raggio vettore guidato dalla terra alla luna. Il modo con cui l'azione della luna si compone con quella del sole; la coerenza delle acque, per cui non possono affluire istantaneamente; il loro attrito contro il fondo del mare; la rotazione diurna che obbliga queste protuberanze a spostarsi sulla superficie e che loro impedisce di giungere alla massima loro altezza nell'istante in cui opera su di esse la risultante delle due forze principali; infine lo scorrere con velocità accelerata delle acque del riflusso per riempire il vuoto delle acque del flusso, sono le principali circostanze per cui le alte maree succedono alcune ore dopo il passaggio della luna al meridiano, ed obbligano il mare ad impiegare un po' più di tempo ad abbassarsi che a levarsi. Per la sola azione della luna, ove le acque fossero uniformemente ripartite su la terra, la differenza di livello fra il flusso ed il riflusso, secondo il calcolo, sarebbe m. 0,50; combinandosi coll'azione del sole nelle sizigie sarebbe m. $0,50 + 0,24$, e nelle quadrature m. $0,50 - 0,26$.

L'estensione delle acque molto contribuisce al loro elevarsi, mentre ne resta favorita tanto l'azione lunare che la solare. Nel Mediterraneo le maree sono appena sensibili, e non lo sono punto nel mar Caspio e nel mar Nero: sono invece molto distinte nell'acque dell'Oceano. La configurazione delle spiagge ritarda pure molto l'epoca del flusso, per cui i diversi luoghi d'una medesima costa lo ricevono in tempi diversi; ma questo ritardo si mantiene costante per ogni luogo. Per esempio il ritardo è di 3^h,5 a Brest, di 6 ore a S. Malò, e di 10^h, 5 a Dieppe.

§ 70.* Anche dal moto della luna nella sua orbita attorno la terra si può argomentare la legge della gravitazione. Infatti Newton immaginò che la forza, la quale trattiene la luna dal muoversi secondo la tangente della sua orbita, in dipendenza del suo moto di traslazione e dell'inerzia, fosse la stessa gravità che fa cadere i corpi alla superficie della terra, la quale s'estendesse colla sua azione sino alla luna, con solo un decremento relativo ai quadrati delle distanze dal centro della terra.

S'immagini l'arco *om* di quest'orbita percorso dal centro della luna nella unità di tempo, cioè in un minuto secondo; e per un

estremo di esso si guidi la tangente ot all'arco stesso, sino ad incontrare il prolungamento del raggio vettore corrispondente all'altro estremo, e infine da quest'altro estremo si guidi la parallela mc alla detta tangente: la parte tm del raggio vettore che rimarrà compresa fra queste due parallele rappresenterà lo spazio descritto dal centro della luna in avvicinamento verso il sole durante l'unità di tempo. E poichè questa parte tm differirà pochissimo dal senoverso oc dell'angolo formato dai due raggi vettori, e d'altronde, attesa la grandezza del raggio dell'orbita lunare, potendosi assumere la corda om a misura dell'arco stesso om , risulterà il detto spazio s corrispondente al rapporto

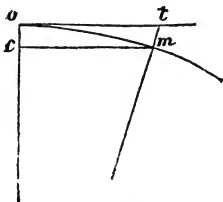


Fig. 35.

fra il quadrato della corda ed il doppio del raggio, essendo la corda di un arco media proporzionale fra il senoverso dell'arco stesso ed il diametro.

Ora la velocità media, ossia la lunghezza v dell'arco percorso dal centro della luna in un secondo, è data dalla $v = \frac{2\pi R}{t}$, posto R il raggio medio dell'orbita lunare espresso in metri, cioè 59,96 r_e e t il tempo periodico della luna, ossia la durata di una sua rivoluzione siderale, qual è di 27^{gi} 7^h 43' 11'' = 2360591''. Perciò, essendo $v =$ metri 1017,90, ritenuto $r_e =$ met. 6377598, ed avendosi $s = \frac{v^2}{2R}$, sarà pure $s =$ met. 0,0013547 = mill. 1, 3547.

Se d'altra parte vuolsi determinare il valore g' che assumerà la accelerazione g alla distanza lunare, secondo la predetta legge, si avrà:

$$g: g' = (59,96 r_e)^2: r_e^2;$$

e ritenuto $g = 9m$, 78104, valore della gravità all'equatore, si trova $g' =$ met. 0,0027202. E poichè lo spazio percorso s' nella prima unità di tempo corrisponde alla metà della accelerazione g' , sarà $s' =$ mill. 1,3601. Il qual valore risulta di pochissimo differente dal precedente mill. 1,3547.

Anzi codesta differenza sarebbe tolta affatto, qualora nelle precedenti considerazioni non si fosse trascurata — come s'è fatto per semplicità di discorso — la differente azione esercitata dal sole su la terra e su la luna, e la massa della luna relativamente a quella della terra, poichè quella, sebbene piccola, non è trascurabile, corrispondendo ad 1/88 della massa terrestre.

L'or esposta coincidenza tra l'avvicinamento della luna alla terra in 1'' dedotto dal di lei moto effettivo nell'orbita, e quello dedotto dal supporre estesa dalla terra alla luna la gravità terrestre colla legge newtoniana, nell'atto stesso che serve di prova di questa ipotesi, ci conduce altresì a schiarire in qual senso diciamo essere la gravità un'energia di posizione.

Il peso assoluto di un dato corpo, abbiám già veduto, essere dipendente da due elementi, l'uno de' quali, la massa, è costante (§ 57), l'altro, l'accelerazione, è variabile da uno ad altro punto della terra secondo la latitudine e l'altitudine (§§ 65 e 66). Ora possiam notare che quest'ultimo elemento ha una grandissima influenza sul peso d'un corpo. Posto P il peso assoluto di un corpo a livello del mare ed all'equatore, dove la gravità è g_0 , il peso P' del medesimo dove la gravità, come alla media distanza lunare, sia g' , sarà dato dalla:

$$m = \frac{P}{g_0} = \frac{P'}{g'};$$

essendo m la massa del corpo stesso. Se, ad esempio, fosse $P=1$, cioè il dato corpo pesasse un chilogrammo nella prima posizione, nella seconda peserebbe:

$$P' = \frac{g'}{g_0} = \frac{1}{(59,96)^2} = \text{chg. } 0,0002781,$$

cioè peserebbe appena 278 milligrammi. Dunque il pesare di un corpo, quanto all'intensità, è tal qualità che dipende anzitutto dalla posizione che esso tiene rispetto agli altri corpi coi quali gravita, ossia *la gravità è veramente un'energia di posizione*.

§ 71. Newton, dopo essersi assicurato col calcolo che la forza centripeta, la quale ritiene la luna nella sua orbita, è la gravità di essa rispetto alla terra, cercò di estendere siffatta conclusione, onde provare *essere la gravità dei pianeti rispetto al sole la forza centripeta che limita le loro rivoluzioni*. Nell'immortale sua opera dei *Principii matematici di filosofia naturale* ha dato uno dei più splendidi saggi della somma efficacia della sintesi matematica nell'indagine delle leggi de' fenomeni naturali.

Dapprima dimostrò che se un corpo s'aggira attorno ad un punto immobile od anche dotato di un movimento uniforme o rettilineo, e se il moto del corpo sia tale che il suo raggio vettore descriva intorno a quel punto aree proporzionali al tempo trascorso nel descriverle, la forza centripeta non può non essere diretta verso un tal punto. Ora le aree, che i raggi vettori de' pianeti descrivono intorno al sole, essendo, per la seconda legge di Keplero, proporzionali al

tempo, la forza centripeta che regola i loro movimenti dovrà essere per tutti rivolta al centro del sole.

Passò in seguito ad investigare il carattere della forza, considerando la specie della curva descritta dai pianeti, e dimostrò che, ove la curva percorsa da un corpo sia un'elisse, in un fuoco della quale risieda la forza centripeta, è necessario che la forza operi in ragione inversa del quadrato della distanza. Le orbite dei pianeti essendo ellittiche, come è annunziato dalla prima legge di Keplero, e la forza risiedendo nel sole, ne segue che l'azione del sole sopra ciascun pianeta deve decrescere come il quadrato della distanza.

La 3^a legge di Keplero, che i quadrati dei tempi periodici dei diversi pianeti stiano tra loro come i cubi dei grandi assi delle loro orbite, aveva dapprima guidato Newton a congetturare che il decremento della forza di gravitazione fosse nella ragione inversa dei quadrati delle distanze. Di poi questa legge gli servì a provare: che il sole opera egualmente su tutti i pianeti, in quanto che masse eguali d'ognuno di essi, poste ad eguale distanza dal sole, graviterebbero con intensità eguale verso di esso, indipendentemente dalla natura delle loro sostanze, e che l'azione centripeta del sole su un pianeta lontano, riferita a quella esercitata su altro vicino, è soltanto diminuita nella ragione inversa del quadrato delle rispettive loro distanze. Questa proposizione consegue da quest'altra, da lui pure dimostrata, che la forza di gravitazione farebbe descrivere ad uno stesso corpo, posto a differenti distanze medie, orbite ellittiche nelle quali i tempi periodici starebbero nella ragione delle radici quadrate dei cubi delle distanze medie, o dei semi-assi maggiori, come Keplero aveva trovato succedere per i pianeti.

Insomma Newton conchiuse che, qualora le masse del sole e dei pianeti esercitassero una scambievole azione in ragione diretta delle masse ed inversa dei quadrati delle distanze, i pianeti stessi avrebbero dovuto muoversi intorno al sole appunto ne' modi e rapporti che sono espressi dalle tre leggi di Keplero, le quali riassumono i tanti dati d'osservazione.

È questo un luminoso esempio d'una teoria fisica, dalla quale si traggono come corollarii necessarii le leggi empiriche. E qui il processo analitico ed il sintetico si sussidiano e si convalidano a vicenda.

Le conclusioni dedotte precedentemente dal moto dei pianeti intorno al sole, furono da Newton estese al moto dei satelliti di Giove e di Saturno intorno al rispettivo pianeta. Notò che, mentre i satelliti pesano verso di esso, questo reciprocamente pesa verso di quelli in proporzione delle loro masse, e che l'uno e gli altri gravitano poi anche verso il sole, il quale, per reciproca azione, pesa pur esso verso i pianeti e verso i loro satelliti. E, considerando poi

tutte queste azioni reciproche fra i diversi corpi del sistema solare, sempre proporzionali alle masse e nella ragione inversa dei quadrati delle distanze, conchiuse essere la gravitazione una proprietà della materia, e pose il principio: che *ogni molecola materiale è centro di gravitazione di tutte le altre molecole, le quali gravitano verso di essa in ragione diretta della di lei massa, e reciprocamente al quadrato della distanza di ciascuna di queste da quella.*

§ 72.* Però le leggi della gravitazione, oltre al dar ragione delle leggi di Keplero, appunto perchè più generali di queste, hanno il pregio di far altresì prevedere o spiegare le deviazioni delle leggi stesse di Keplero, che si verificano nei moti de' pianeti e satelliti, e che ebbero nome di *perturbazioni*.

Le perturbazioni o disequaglianze nel moto de' pianeti sono di due specie.

Alcune dipendono dalle rispettive posizioni de' varj pianeti e dalle loro distanze angolari ai nodi ed ai perielj delle loro orbite, e si manifestano in tutti gli elementi elittici, però entro stretti limiti. Le si chiamano ineguaglianze *periodiche*, perchè nelle loro variazioni ritornano agli stessi valori, dopo intervalli di tempo non molto lunghi e dipendenti dai tempi periodici de' pianeti, ossia ritornano ad essere eguali i valori degli elementi elittici d'un dato pianeta, quando tutti gli altri pianeti ritornano alle medesime posizioni relative.

Sono celebri le ineguaglianze periodiche che alterano i moti di Giove e di Saturno. Confrontando le osservazioni moderne colle antiche si trovava una diminuzione nel tempo periodico di Saturno ed un aumento in quello di Giove: confrontando tra loro invece le osservazioni moderne s'aveva un risultato contrario. Laplace dimostrò che, a cagione delle mutue gravitazioni dei due pianeti, il moto di Saturno doveva rallentarsi quando quello di Giove s'accelera, e reciprocamente.

Un'altra celebre disequaglianza, che formò pure una splendida conferma della teoria newtoniana, la si ha nel moto di Urano, che condusse Leverrier nel 1846 alla scoperta del pianeta Nettuno. Le tavole d'Urano, fondate su le osservazioni comprese tra il 1781 (anno della sua scoperta) ed il 1821 non soddisfacevano alle osservazioni più recenti, non ostante che si tenesse conto dell'influenza perturbatrice di tutti i pianeti conosciuti, e le differenze tra le posizioni osservate e le calcolate erano troppo rilevanti per attribuirle ad errori d'osservazione. Si pensò quindi di riguardarle siccome effetto dell'azione perturbante d'un pianeta ignoto. Per rinvenire questo pianeta bisognava risolvere il problema inverso delle perturbazioni: cioè, date le differenze suindicate, considerandole come intieramente dipendenti dall'azione d'unico pianeta, trovare la massa di questo, i suoi elementi elittici e la sua longitudine ad un'epoca determinata. Galle di Berlino rico-

nobbe pel primo questo pianeta, in un punto poco discosto da quello assegnato dal calcolo.

Altre ineguaglianze si dicono *secolari*, perchè si manifestano con eccessiva lentezza, ossia contano un periodo che si estende a parecchie migliaia d'anni. Esse non dipendono dalle posizioni relative de' pianeti, e non accadono in tutti gli elementi del loro moto jellittico. Per esse le elissi si approssimano e si discostano dalla forma circolare, variano la loro inclinazione sull'eclittica, e si muovono i nodi ed i perielj. L'ineguaglianze de' perielj delle orbite risentono più distintamente dell'altre l'influenza della gravitazione. Ad esempio, dietro la legge che pone la gravitazione in ragione inversa del quadrato delle distanze, il perielio dell'orbita terrestre deve avere relativamente alle stelle un movimento diretto di $11'' 66$ all'anno, per cui tutta l'orbita si muove nel piano dell'eclittica a seconda di tal movimento dell'asse, per azione de' pianeti e specialmente di Venere e Giove. Questo risultato della teoria è pienamente conforme alle osservazioni; e siffatto accordo ci mostra l'esattezza della predetta legge newtoniana, giacchè, ove si facesse variare soltanto d'un diecimillesimo la potenza della distanza alla quale è inversamente proporzionale la gravitazione solare, si troverebbe per un tal moto annuo del perielio terrestre una quantità cinque volte maggiore.

§ 73. La sussistenza di questa gravitazione universale è resa sensibile anche su la terra mercè la bilancia di torsione, ideata da Michell, ed attuata poi da Cavendish.

Qualora si sostenesse direttamente la pallina da muovere con un sottil filo verticale, a forma d'un pendolo semplice, essa non potrebbe esser deviata sensibilmente neppure da un globo di piombo di due o tre metri di raggio, giacchè la massa d'un monte fa deviare un filo a piombo soltanto d'alcuni minuti secondi di arco. Egli immaginò invece di reggerla per mezzo di una leva ben equilibrata e perfettamente mobile in un piano orizzontale: poichè su questa la gravità non esercita alcuna azione per farla muovere in tal piano, ed agisce soltanto la torsione del filo, che tien sospesa la leva. Inoltre disponendo due palline all'estremità della leva fece agire su di essa la massa di due pesanti globi appressati in senso opposto alle due palle, cosicchè cospirassero le mutue gravitazioni dei quattro corpi a far girare la leva in un medesimo verso. Però, le condizioni essendo eguali alle due estremità dell'asta, si potranno considerare le azioni d'ognuno de' globi sulla palla contigua oscillante siccome riferite alla verticale passante pel punto di sospensione; con che si ottiene una specie di pendolo orizzontale, oscillante per l'azione del globo, come il pendolo ordinario verticale oscilla per l'azione della terra.

Ecco adunque in che consiste principalmente l'apparecchio di Cavendish.

Un'asta orizzontale, rigida, poco pesante e sostenuta in bilico nel suo mezzo da un filo molto lungo e sottile, porta alle sue estremità due piccole palle di piombo. Quando l'asta è libera, si dirige secondo la linea, in cui il filo resta semplicemente disteso, senza provare alcuna tendenza al torcersi ed allo storcarsi (a), la qual linea si chiama *linea di riposo*. A ciascuna delle due piccole palle si accosta, ad eguale distanza, ma da parti opposte, un grosso globo di piombo (b).

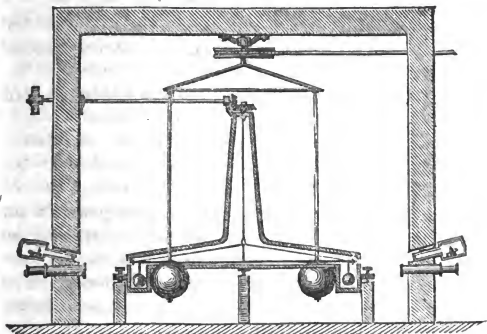


Fig. 36.

Si vedrà tosto che le palle si mettono in moto per avvicinarsi ciascuna al rispettivo globo, il che accenna il gravitare reciproco delle palle e dei globi. Ma siccome, per siffatto moto delle palle, l'asta che le porta viene a torcere il filo di sospensione, e siccome la forza con cui questo resiste alla torsione cresce più rapidamente che non faccia la gravitazione dei globi, così ben tosto queste due forze vengono ad eguagliarsi.

Giunte in tal *linea d'equilibrio*, le palle dovrebbero fermarsi; ma siccome vi giungono con una velocità preconcetta, passano oltre

(a) I globi di piombo adoperati da Cavendish pesavano ciascuno circa chilog. 158. Essi erano portati da una leva dalle cui estremità pendevano in modo che i loro centri fossero nello stesso piano orizzontale di rotazione dell'asta portante le palle.

(b) Perchè veramente il filo soddisfi a questa condizione, siccome risulta da alcune interessanti sperienze del prof. Pisati, convien che esso abbia già subito un lungo lavoro e sia stato dianzi scaldato a temperatura piuttosto elevata.

per inerzia, sinchè la torsione del filo, che tende a ricondurle addietro con una forza ognor crescente, estingue ogni loro velocità. Allora il filo comincia a distorcersi, l'asta retrocede, passa un'altra volta per la linea ove la torsione del filo e la gravitazione delle palle verso i globi si equilibrano; di poi procede più in là dal lato opposto, dove la forza di gravitazione dei globi, eccedendo la torsione del filo, richiama indietro le palle. Epperò queste andranno facendo così una serie di oscillazioni intorno alla linea d'equilibrio.

Determinando coll'esperimento il punto di mezzo degli archi percorsi nelle oscillazioni, si ottiene la direzione della linea di equilibrio rispetto a quella di riposo, ed osservando la durata delle oscillazioni si hanno i dati principali per calcolare in che ragione stia la massa dei globi con quella della terra.

La durata t' di siffatte oscillazioni vien espressa, secondo Mossotti, da:

$$t' = \pi d \sqrt{\frac{l'\alpha}{m}},$$

ove d indica la distanza del centro della palla quand'è nella linea di riposo dal centro del globo, l' la lunghezza dell'asta, cioè la distanza del centro della palla dal punto, in cui il filo sostiene l'asta, α l'angolo compreso dalle due linee di riposo e di equilibrio, ed m la massa del globo.

Ora, richiamando la $t = \pi \sqrt{\frac{l}{g}}$ pel moto del pendolo verticale (§ 62), si avrà:

$$t' : t = d \sqrt{\frac{l'\alpha}{m}} : \sqrt{\frac{l}{g}};$$

e posto $t = l''$ si ha:

$$(49) \quad t'^2 = d^2 \frac{g l' \alpha}{m l}.$$

E, variando le distanze dei globi dalle palle e la massa dei globi, si verificarono le predette leggi di Newton, cioè: 1. *la gravitazione reciproca di diversi corpi, posti ad eguali distanze tra loro, è direttamente proporzionale alle rispettive masse*; 2. *la gravitazione di due date masse, poste successivamente a distanze diverse, risulta inversamente proporzionale ai quadrati di tali distanze*.

Pertanto si può ritenere che il fatto del cadere dei corpi abbandonati a sé ed in generale il fatto del pesar dei corpi, sia un caso particolare, una dipendenza dell'altro fatto, pur generale, ch' i corpi gravitano tutti scambievolmente gli uni verso gli altri in proporzione diretta delle loro masse ed inversa de' quadrati delle loro rispettive distanze.

I corpi che stanno presso la superficie terrestre hanno una massa ben piccola in confronto a quella della terra, epperò obbediscono tutti alla prevalente di lei azione e non riesce sensibile l'azione loro su di essa. Perciò, quando i corpi medesimi si trovino a non molta distanza dalla superficie terrestre, si può ritenere che tutti graviteranno verso di essa, appunto in proporzione della loro massa, siccome si trovò colla prima legge del moto de' corpi cadenti (§ 57).

Si comprende pure: perchè, elevandosi al disopra del livello del mare, l'intensità della gravità (ossia la gravitazione dei corpi) si renda meno energica (§ 66); perchè ad una certa profondità debbano riescir minori la gravità ed il peso de' corpi, venendo questi a gravitare anche verso gli strati sovrapposti della terra; perchè il filo a piombo devii verso gli alti monti e il pendolo vibri più rapidamente in prossimità delle dense masse plutoniche, e si rallenti tanto più quanto più si discosta dal centro della terra col passare dai poli all'equatore, anche indipendentemente dalla forza centrifuga; e perchè infine la superficie delle acque in prossimità dei monti sarà leggermente concava, incurvandosi verso di essi, in modo da riuscire perpendicolare alla risultante delle azioni di gravitazione della terra e del monte.

Si conferma altresì che *la gravità non è una forza che emani dal centro della terra, ma sibbene la risultante della gravitazione reciproca d'ogni punto della massa terrestre (a).*

Che se i corpi cadenti si dirigono verso il centro della terra, il fanno perchè, muovendosi secondo la direzione di un diametro del globo, risentono la sollecitazione al moto di un numero di molecole maggiore che in qualsiasi altra direzione.

D'altronde col calcolo si dimostra che, posta una molecola fuori d'una sfera costituita da una massa omogenea di molecole, e costituita da tanti strati concentrici di uniforme densità, e supposta fra tali molecole la forza di gravitazione reciproca data dalle precedenti leggi, l'azione di una siffatta sfera di molecole sulla molecola esterna

(a) Al qual proposito è degno di menzione questo luogo di Galileo (Dialogo dei massimi sistemi. Giorn. 1.^a). « Credo che prima sieno le cose gravi che il comun centro della gravità, sicchè non un centro, che altro non è che un punto indivisibile, e però di nessuna efficacia, sia quello che attragga a sè le materie gravi, ma che esse materie, cospirando naturalmente all'unione, si formi un comun centro, che è quello intorno al quale consistono parti di eguali momenti; onde stimo che, trasferendosi il grande aggregato dei gravi in qualsivoglia luogo, le particelle, che dal tutto fosser separate, lo seguirebbero e non impedita penetrerebbero sin dove trovassero parti men gravi di loro; ma pervenute sin dove s'incontrassero in materie più gravi, non iscenderebber più. »

può essere surrogata dall'azione di una unica molecola posta al centro di una tale sfera, e dotata di una massa eguale a quella della sfera medesima; cioè si potrebbero adunare e considerare tutte le masse delle singole molecole nel punto centrale. Pertanto il fatto che i corpi cadono dirigendosi verso il centro della terra, ci dice che essa è costituita da strati concentrici, di densità pressochè uniforme in ciascuno di essi, benchè crescente dall'esterno all'interno.

§ 74. Mercè la equazione (50) del § 74 si può anche determinare la massa relativa della terra in funzione dei dati sperimentali ottenuti colla bilancia di torsione e col pendolo semplice. Poichè per le leggi newtoniane devono essere per l'unità di massa $g = \frac{M}{r^2}$, posta M la massa relativa della terra ed r il raggio di questa, la succitata:

$$(50) \quad v^2 = d^2 \frac{g}{m} \cdot \frac{l'a}{l},$$

di venta:

$$v^2 = \frac{M}{m} \cdot \frac{d^2}{r^2} \cdot \frac{l'a}{l},$$

dalla quale si trae per la massa terrestre:

$$(51) \quad M = m \frac{r^2}{d^2} \cdot \frac{lv'^2}{l'a}.$$

E dividendo poi M per V volume della terra, s'avrà la densità media di essa, cioè il valor medio della massa relativa corrispondente a ciascuna unità di volume della terra (§ 57). Qualora poi a valutare la massa m di ciascun globo della bilancia di torsione s'adoperi per unità di volume il metro cubo e per unità delle densità quella dell'acqua a 4.°, si avrà la densità media d della terra riferita a quella dell'acqua. Il volume V del nostro pianeta, in metri cubi, è espresso approssimativamente da 1081 triloni, cioè dal numero 1081 seguito da 18 zeri, ritenendo $r_m = m$. 6367745.

Densità media della terra.

§ 75.* Per tre diversi processi si tentò di determinare la densità media della terra.

Il 1.º sta nel determinare, con una combinazione di misure astronomiche e geodetiche, di quanto un filo a piombo devii dalla verticale astronomica sotto l'influenza d'una vicina montagna, e nel cal-

colare qual possa essere l'influenza relativa sul pendolo stesso della massa totale della terra e di quella in particolare del monte, con riguardo alle distanze dei rispettivi centri di gravità ed alla densità media delle rocce costituenti il monte medesimo. Dalle osservazioni di Maskelyne su la deviazione prodotta dal monte Shehallien e dai computi di Playfair, che meglio investigò la costituzione ed il volume del monte, risulterebbe per la densità media della terra 4,71 volte quella dell'acqua.

Il 2.^o processo è fondato sul paragone della lunghezza del pendolo a secondi, che si fa oscillare prima al piede, poi alla sommità d'un monte, oppure alla cima ed al fondo d'un pozzo; fatto poi calcolo, in modo analogo al predetto, delle influenze relative della massa terrestre e di quella del monte, o degli strati del suolo attraversato. Il Carlini misurò la lunghezza del pendolo a secondi all'ospizio del monte Cenisio in Savoia, e da questa il prof. Giulio di Torino concluse che il pendolo era più lungo di mill. 0,214 di quello che avrebbe dovuto essere senza l'azione della montagna. E valutando poi la grandezza e la massa del monte, trovò per la densità media della terra 4,84. Invece Airy (1856) dalle oscillazioni d'un pendolo a fior di suolo e nell'interno d'una miniera di Harton, alla profondità di met. 384, dedusse per la terra una media densità compresa fra 6,7 e 6,8.

Il 3.^o mezzo e più sicuro è quello della bilancia di torsione, adoperata come si disse sopra. Dalle suesposte sperienze di Cavendish tal densità media risulterebbe 5,48, e secondo i calcoli rifatti da Edoardo Schmidt 5,52. Collo stesso metodo Reich (1837) per medio di 57 sperienze trovò 5,444. Posteriormente l'inglese astronomo Baily, dopo un lungo e molto diligente lavoro, concluse essere la densità media del globo 5,675. La differenza era troppo notevole. Laonde Reich (1852) volle rifare le sue sperienze. Approfittando dei consigli del Forbes, ed analizzando minutamente il lavoro di Baily, si convinse essere eccessiva la cifra di questi, ed insieme minore del vero la propria.

In tre serie di osservazioni, fatte con diversi modi, ottenne per medio di 24 osservazioni eseguite in ciascuna serie i valori medii 5,552; 5,617 e 5,594. Quindi il valore medio dell'insieme delle tre serie risulta 5,581 con un errore probabile di 0,015 (a).

(a) Come saviamente osservò il Secchi, in occasione delle succennate sperienze del Pisati, in queste delicate esperienze converrebbe anzitutto accertarsi che il filo di sospensione non subisca più alcuna variazione nella sua elasticità di torsione solo per l'atto del mutare il carico della leva da una ad altra serie di sperienze.

Il valore offerto dai primi due processi è minore di circa un sesto del suindicato, perchè nei calcoli si assunse un valore troppo piccolo per lo schiacciamento, e perchè è molto difficile determinare precisamente la densità delle rocce che concorrono a formare la massa dei singoli monti.

Ora la densità media delle rocce costituenti gli strati superiori de' continenti è circa 2,75; e la densità media della superficie della terra, comprese le acque, non giunge ad 1,6, poichè le acque investono una porzione di superficie che sta a quella occupata dalla terra come 2,815: 1; e l'altezza media dei continenti è di circa 300 metri.

È dunque necessario che nell'interno si trovino strati aventi una densità maggiore del detto valor medio, onde compensare la minor densità degli strati superiori, ed il decremento nella gravità nell'interno della terra.

Roche diede una formola approssimata ad esprimere la densità d della terra ad una distanza a dal centro del globo, espressa in frazione del raggio terrestre preso per unità:

$$d = 10,6 (1 - 0,8 a^3),$$

la quale dà $d = 2,1$ alla superficie, e $d = 10,6$ al centro.

E atteso codesto rapido incremento nella densità accade che la gravità va aumentando sino ad una certa profondità, siccome osservò anche Airy nelle predette sue ricerche, e di poi decresce, giusta lo stesso Roche, secondo la relazione:

$$(52) \quad g' = 1,92 g a (1 - 0,48 a^3),$$

ove g' è la gravità alla distanza a dal centro, e g quella alla superficie; la quale accenna che g' vada crescendo sino ad un sesto circa dal raggio, ove $g' = \frac{16}{15} g$, indi decresca, tanto che ad un terzo ha $g' = g$, ed al centro $g' = 0$.

CAPO IV.

IDROSTATICA

§ 76. È oggetto proprio della *idrostatica* lo stabilire alcuni generali principii intorno alle condizioni d'equilibrio dei liquidi. Perciò conviene limitarsi a far parola di que' liquidi, ne' quali la fluidità può dirsi perfetta, e nulla la viscosità (§ 7). Anzi, a maggiormente semplificare il problema, suolsi far dapprima astrazione dalla gravità.

Con queste limitazioni ci sarà lecito, almeno in forma ipotetica e provvisoria, di considerare un liquido omogeneo, non viscoso e non grave, quale un sistema di punti o di molecole, dotato di coerenza (α) e di elasticità (§ 7), nel quale le singole parti si tengono a certe rispettive distanze pel conflitto di due scambievoli azioni, che tendono a produrre l'una una diminuzione e l'altra un aumento nelle distanze stesse, e che denomineremo rispettivamente *gravitazione molecolare* e *tensione molecolare*. Abbiamo detto *omogeneo* per significare che le molecole di tal liquido essendo di egual natura, dovranno pur avere masse tra loro eguali (§ 18).

Or, ritenendo che codesti reciproci sforzi delle molecole siano correlativi tanto alle masse loro, quanto alle rispettive loro distanze, è facile inferirne la condizione d'equilibrio d'una massa cosiffatta.

Si consideri una molecola nell'interno di tal massa, e per il di lei centro di figura si immagini guidata una retta con una data direzione, la quale incontrerà dalle due bande i centri di figura di due molecole laterali. Perchè vi sia equilibrio per queste tre molecole, bisogna che le distanze dei centri di ciascuna delle laterali dall'intermedia siano eguali, altrimenti sarebbero differenti le intensità delle loro reciproche azioni d'avvicinamento e di discostamento. Lo stesso dicasi per le molecole incontrate dalle rette guidate, in qualsiasi altra direzione, dal centro della predetta molecola. Epperò questa dovrà trovarsi nel centro di tante azioni simmetriche, che elidonsi scambievolmente due a due. Egual cosa varrà per ogni altra molecola interna della massa liquida; talchè questa aver dovrà un' uniforme densità in ogni sua parte.

Ma l'intensità di questi unitari sforzi molecolari varierà e colla natura dei liquidi (cioè colla massa relativa delle loro molecole) e colla loro temperatura (cioè colla reciproca distanza delle molecole medesime). Tuttavia, per ogni liquido e per ogni temperatura, esisterà una certa distanza reciproca fra le sue molecole (due a due le contigue), per cui esse, sollecitate per egual impulso ad avvicinarsi ed a discostarsi, si dicono in equilibrio.

Non si deve però dimenticare che codesto stato, chiamato di equilibrio, è per ogni parte la risultante di effettive sollecitazioni eguali e contrarie, che di continuo si elidono, senza lasciar di operare pur continuamente.

Laonde ogni benchè minima variazione, sia nella temperatura, sia nella pressione dall'esterno esercitata su quella massa, farà luogo ad una modificazione nella rispettiva distanza delle molecole. Quando la temperatura aumenta, crescendo la tensione reciproca tra le molecole, rimarrà soverchiata la gravitazione molecolare, e si spiegherà tra esse una azione espansiva atta a produrre una pressione sui corpi esterni. Però questa azione verrà ancora limitata dalla gravitazione stessa, la cui intensità, al crescere delle distanze molecolari, scema meno rapidamente che non faccia la tensione.

Similmente per ogni incremento nella esterna pressione, cospirante colla gravitazione, riducendosi le molecole a minore distanza, si spiegherà un'azione ripulsiva (tensione) tra le molecole stesse, per la quale il liquido reagirà contro la pressione medesima e proporzionalmente ad essa.

Principio di Pascal.

§ 77. Ciò posto, è facile l'intendere il principio messo in chiaro da Pascal, che cioè *una pressione esercitata su una parte qualunque d'una massa liquida, si trasmette con eguale intensità in tutte le direzioni ed in ogni verso alle parti della massa stessa.*

Si immagini una massa liquida omogenea in equilibrio, epperò di uniforme densità, contenuta in un vaso, sicchè le forze molecolari del recipiente e del liquido siano in equilibrio. Se ad una parte della parete, supposta mobile, come un embolo entro apposita tubulatura, si applichi una pressione, cioè si imprima un movimento tendente a sospingere l'embolo verso l'interno, esso solleciterà lo strato liquido che lo tocca, ad avvicinarsi allo strato contiguo, ad esso parallelo e più interno. E d'altra parte, questo si opporrà a siffatto avvicinamento coll'azione tensiva delle sue molecole; la quale però, alla sua volta, non può mantenersi, se in tutti gli altri successivi strati, e quindi in tutta la massa del liquido, non si sarà provocato un e-

guale incremento nella reazione elastica, dietro una conveniente diminuzione nelle distanze molecolari. Talchè la massa liquida non si potrà ricomporre in equilibrio, fino a che in tutte le parti di essa non si sarà ancora eguagliata la densità, riducendosi però maggiore della preesistente, di tanto da dispiegare, su una data superficie, un'azione tensiva eguale e contraria all'azione premente che su la stessa superficie provocata dall'estrinseca pressione sovrappiunta. E quindi anche ciascuna porzione dell' interna parete del vaso dovrà spiegare contro le molecole liquide, che la toccano, una azione repulsiva proporzionatamente maggiore della precedente.

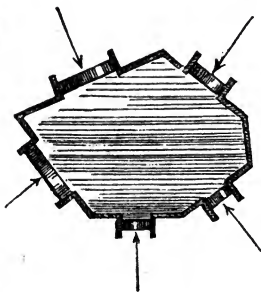


Fig. 37.

Laonde, se in altra parte della parete fossevi una tubulatura con un embolo, per tener questo in freno, converrà esercitare su di esso e perpendicolarmente alla sua base una pressione la quale corrisponda a quella esercitata sull'altro embolo, moltiplicata per il rapporto delle basi dei due emboli; ossia le pressioni esercitate sui due emboli dovranno essere direttamente proporzionali alle rispettive basi.

Di questa condizione d'equilibrio si è tratto partito nel torchio idraulico, immaginato da Pascal, ed eseguito convenientemente da Bramah (1796), in opera del quale si producono da un embolo di

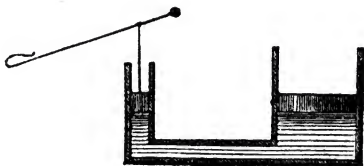


Fig. 38.

ampia base pressioni assai rilevanti, esercitando su altro embolo, di angusta sezione, una pressione proporzionalmente minore.

Devesi però osservare che, volendosi con questa macchina determinare un movimento su una data superficie, bisognerà imprimere all'embolo motore una velocità commisurata all'area dell'embolo re-

sistente, dovendo essere tra loro eguali il volume del liquido uscito dall'un recipiente e quello penetrato nell'altro in un determinato tempo. Quindi, per ciascun embolo, esser deve eguale il prodotto della pressione per la corrispondente velocità, astrazion fatta dalle resistenze d'attrito degli emboli nelle rispettive tubulature. Poichè in questa, come in ogni altra macchina, il lavoro motore deve eguagliare il lavoro resistente (§ 38).

Codesta relazione tra le velocità dei due emboli, confermata dalle esperienze eseguite collo stesso torchio idraulico, mette già per sè in chiaro che *l'esercizio di una pressione in un liquido, anche supposto non grave, tiene implicita la condizione di un moto attuale nelle molecole* del liquido stesso che diciamo trasmettere codesta pressione. Dove non fossevi questo moto molecolare, mal si saprebbe concepire in che consista una pressione esercitata da alcune molecole liquide contro le pareti del recipiente, e più ancora come questa pressione si possa direttamente tradurre in un' effettiva forza motrice.

Condizioni d'equilibrio d'un liquido grave.

§ 78. Prendendo ora a considerare anche la gravità in una massa liquida, supposta pure omogenea e non viscosa, è facile assegnare le dipendenti condizioni d'equilibrio, che cioè *la superficie libera del liquido dev'essere orizzontale; che nell'interno della massa le tensioni devono andar crescendo colle distanze delle singole parti dalla superficie libera; e che devono essere eguali le pressioni e trazioni esercitantesi tra le molecole d'uno stesso strato orizzontale.*

Quanto alla prima di queste condizioni è evidente che, onde sia in equilibrio la *superficie libera* del liquido (così chiamando quella porzione della sua superficie che non tocca le pareti e ne è tanto discosta da non manifestare azione capillare) dovranno essere in equilibrio tutte le molecole che la costituiscono, attesa la loro perfetta fluidità e insieme la loro gravità. Quindi in ciascuna molecola il moto di gravità dovrà essere equilibrato da una tensione che, per reazione elastica, si eserciti contro di essa, nella stessa direzione e con eguale intensità, dalle molecole che la circondano e che la rattengono o la sorreggono. La qual cosa non può verificarsi, se la detta superficie libera non sarà, in ogni sua parte, normale alla direzione del moto di gravità.

Infatti, se tal superficie fosse inclinata, potendosi supporre il moto di gravità d'ogni molecola decomposto in due, l'uno parallelo e l'altro normale alla superficie stessa, il primo di questi, non potendo essere impedito, produrrebbe un trascorrimento di tale mo-

lecola in direzione tangenziale alla superficie: quindi non s'avrà equilibrio, finchè codesto moto componente non sia nullo, ossia finchè la superficie libera non sarà *orizzontale*, cioè normale in ogni sua parte alle corrispondenti rette verticali.

Questa deduzione può essere appoggiata sperimentalmente, osservando un filo a piombo tranquillo, il cui estremo inferiore peschi in un liquido suscettivo di riflettere l'immagine del filo esterno (vedi fig. al § 50), poichè questa, da qualunque banda si guardi il filo, apparirà sul prolungamento della immagine diretta del filo stesso; il che non potrebbe accadere se la superficie riflettente non fosse normale alla direzione del filo a piombo.

Pressioni di gravità nell'interno dei liquidi.

§ 79. Ora, se consideriamo uno strato del liquido, preso nell'interno della massa, e parallelo alla detta superficie libera, cioè orizzontale, affinchè le singole molecole, che lo costituiscono, si tengano fra loro in equilibrio, bisognerà che si riducano ad eguali reciproche distanze, onde risultino eguali e contrarie le pressioni o le tensioni che si esercitano dalle une su le altre.

D'altra parte, prendendo a considerare tre strati orizzontali di molecole, tra loro successivi e contigui, è evidente che le molecole dello strato medio eserciteranno su quelle dello strato inferiore una pressione maggiore di quella esercitata dalle molecole dello strato superiore su lo stesso strato medio. Perciocchè le molecole di quest'ultimo graviteranno su quelle dello strato sottoposto col loro peso, oltre che colla pressione che esse risentono per la gravità di tutti gli strati sovrastanti. Pertanto le molecole dello strato inferiore, in opera di un cosiffatto incremento nella pressione, si comprimeranno; cioè si avvicineranno tra loro più che nol siano nello strato intermedio, e così potranno anche spiegare, per reazione, una tensione maggiore di quella esercitata dalle molecole dello strato medio. È quindi facile vedere che, man mano si procederà dalla superficie libera verso il fondo, le molecole appartenenti ai singoli successivi strati orizzontali, spiegheranno pressioni gradatamente crescenti, e sarà quindi pur crescente la densità del liquido da uno ad altro successivo strato (a).

(a) Codesto incremento di densità da uno ad altro strato orizzontale d'un liquido riesce sperimentalmente poco sentito, attesa la limitata comprimibilità dei liquidi. Per esempio, l'acqua pura e privata d'aria, alla temperatura della sua massima densità, si comprime soltanto di 4,83 milionesimi del suo precedente volume per un aumento di pressione corrispondente a quella prodotta da una colonna d'acqua alta un metro alla stessa temperatura: ep-

Da ciò s'inferisce che, *per una massa liquida omogenea in equilibrio, il valore della pressione esercitantesi su un dato strato orizzontale, preso nell'interno di esso, risponde al peso assoluto di un volume dello stesso liquido, che abbia per base l'area considerata e per altezza la distanza verticale dello strato stesso dalla superficie libera.*

Questa deduzione vien dichiarata sperimentalmente mercè una facile prova. Abbiassi un tubo cilindrico di vetro, aperto ai due estremi, e munito però di un disco pure di vetro, lavorato a smeriglio, col quale si può tener chiusa l'apertura inferiore, tendendo all'insù una funicella collegata colla faccia superiore del disco, in corrispondenza al suo centro di gravità, si da reggerne il peso. Qualora codesto tubo,

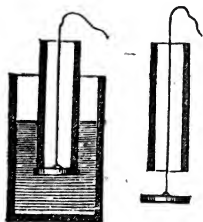


Fig. 39.

diretto col suo asse verticale, verrà in parte affondato in un liquido, più non abbisognerà tendere il filo, per impedire che il disco cada: anzi si potrà versare nell'interno del tubo tanto dello stesso liquido, che colla sua superficie libera giunga, nell'interno, poco al disotto del livello esteriore (in riguardo dell'eccedenza del peso specifico del vetro su quello dell'acqua), senza che il disco si stacchi dall'apertura. Laonde, per reggere al proprio peso ed a quello del liquido contenuto, dovrà codesto disco risentire dal liquido, che ne bagna la faccia

inferiore, una pressione, diretta verticalmente e dal basso all'insù: e questa sarà tanto maggiore quanto più affondato sarà l'estremo chiuso del tubo rispetto alla superficie libera del liquido.

Ma più direttamente e con maggiore precisione si giunge alla stessa conclusione, adoperando il solo tubo cilindrico, senza il disco, ed immergendolo nel liquido con un suo estremo aperto e coll'asse suo verticale, poichè così rende evidente che quel velo del liquido stesso, il quale, in luogo del predetto disco, chiude l'apertura inferiore del tubo, deve risentire una pressione, diretta dall'alto al basso, e corrispondente al peso del liquido che sta entro al tubo stesso al di sopra di quel velo, e la cui gravità è interamente efficace su di esso, ritenute verticali le pareti del tubo. Epperò, affinchè l'equilibrio sussista, converrà che dalle molecole di codesto velo si spieghi, per reazione, una tensione, eguale in grandezza, ma di verso contrario, cioè diretta dal basso all'insù.

però la densità dell'acqua crescerà in proporzione, cioè diventerà all'incirca 1,000005, in luogo di 1,0. Su le leggi sperimentali della comprimibilità dei liquidi si dirà avanti, nel trattare della coerenza dei corpi.

Pressione sul fondo de' vasi.

§ 80. E poichè il liquido entro un tubo aperto ai due estremi s'innalza allo stesso livello dell'esterno, ancor quando le sue pareti

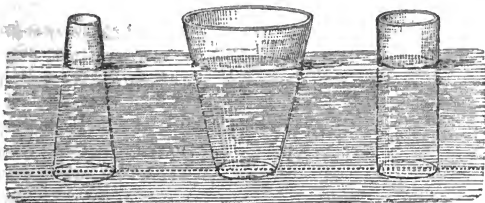


Fig. 40.

lateralmente sieno inclinate, cioè o convergenti verso l'asse del tubo, oppure divergenti dall'asse stesso, si deve inferire che, qualora l'area dell'apertura orizzontale del tubo, in ciascuno di questi tre casi, fosse eguale, e fosse pure eguale la distanza di tale apertura dalla superficie libera del liquido, dovranno pur essere eguali la pressione e la tensione risentita ed esercitata dal velo liquido che chiude l'apertura in ciascun caso.

Questo corollario fu da Pascal riconosciuto sperimentalmente, giovandosi di tre vasi, uno a parete cilindrica, e due altri colla parete a tronco di cono, l'uno de' quali colla base maggiore in basso e l'altro colla base minore. Essendo eguali le aree delle loro aperture di fondo, ed essendo queste chiuse da un disco lavorato a dovere, e trattenuto da un'asticina passante per l'interno del vaso e collegantesi superiormente con un flagello di una bilancia, osservò che lo sforzo

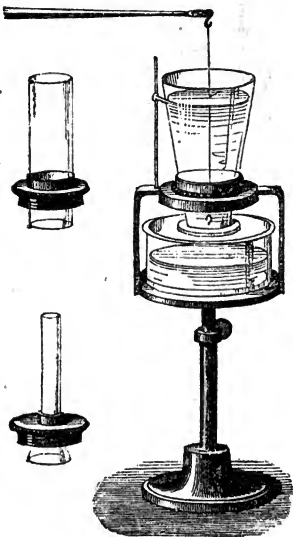


Fig. 41.

voluto a reggere il disco, astrazion fatta dal suo peso, riesce eguale

pei tre vasi, quando il liquido in ciascun d'essi versato giunga colla sua superficie libera ad eguale altezza sovra il rispettivo fondo mobile; benché il volume del liquido in essi contenuto sia notevolmente diverso. E codesto sforzo corrisponde al peso del liquido effettivamente inchiuso nel vaso le cui pareti sono verticali.

Però nel vaso conico, a sezione crescente dal basso all'insù, il peso del liquido contenuto sarà maggiore del detto sforzo di pressione, poichè le pareti oblique sopportano direttamente e devono elidere colla loro reazione elastica la eccedenza del peso del liquido effettivamente compreso nel vaso sul peso di quello che vi si conterrebbe se le sue pareti fossero verticali. Ed invece nel vaso conico a sezione decrescente di basso in su, la pressione sul fondo mobile sarà maggiore del peso del liquido contenuto, perciocchè le pareti stesse convergenti verso l'asse, per reazione elastica, esercitano, su le molecole liquide che le toccano, una pressione diretta dall'alto al basso, ed eguale a quella che le stesse molecole liquide esercitano contro di loro. E questa pressione, per ciascuna molecola di uno strato orizzontale, ha per misura il peso di un fletto di molecole avente per altezza la distanza dello strato medesimo dalla superficie libera del vaso.

Altri si adoperarono con diversi apparecchi per mettere in chiaro

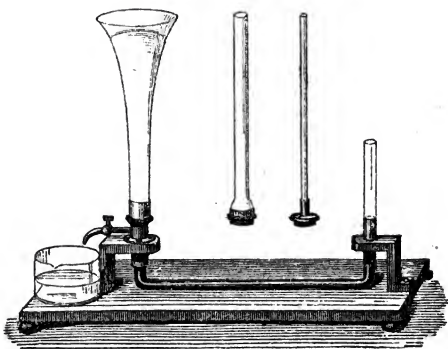


Fig. 42.

questo fatto. Molto in uso è l'apparecchio di Haldat, nel quale si equilibra la pressione prodotta da un liquido sul fondo dei tre vasi, successivamente applicati, mercé una colonna di mercurio che sta in

un tubo il quale inferiormente comunica per opportuno canale col fondo predetto.

Ma, ancor meglio di tutti codesti artifici, giova la osservazione da noi fatta più sopra coi tre tubi che si immergono in un liquido, in modo che le loro aperture inferiori riescano in uno stesso strato orizzontale. Poichè val quanto dire: che in un dato strato orizzontale nell'interno d'una massa liquida, la pressione essendo eguale per ciascuna molecola di esso (§ 55), sarà pur eguale la pressione totale per aree eguali prese nello strato stesso.

Questo corollario del principio di Pascal può anche esprimersi più semplicemente col dire che *la forma delle pareti laterali di un vaso non ha influenza nel determinare la grandezza della pressione esercitantesi per gravità su uno strato orizzontale interno d'una massa liquida* (e quindi anche sul fondo orizzontale di un vaso), e che vi ha soltanto influenza l'area dello strato stesso orizzontale, la distanza di esso dalla superficie libera ed il peso assoluto della unità di volume del liquido medesimo.

Pertanto la pressione P' provocata da gravità su uno strato orizzontale, preso nell'interno d'una massa liquida o sul fondo orizzontale d'un vaso che la contenga, sarà espressa, in generale, dal peso assoluto di un prisma del liquido stesso, avente per base l'area a dello strato o del fondo che si considera e per altezza la distanza s di questo dalla superficie libera del liquido, cioè dalla:

$$P' = a s p,$$

posto p il peso assoluto della unità di volume del liquido medesimo. Però la pressione P su l'unità di superficie dello stesso strato, sarà data dalla:

$$(53) \quad P = p s.$$

E poichè il peso assoluto dell'unità di volume d'un corpo equivale al prodotto della sua densità relativa d per l'accelerazione g di gravità nell'unità di tempo (§ 57), così la precedente potrà esprimersi anche colla:

$$(54) \quad P = d g s.$$

Dal detto principio si può desumere quest'altro corollario chiamato il *paradosso idrostatico*, che *con un dato peso di un liquido si può esercitare sul fondo di un vaso una pressione grande quanto si vuole, purchè sieno convenientemente foggiate le pareti laterali del vaso stesso*.

Poichè se il fondo è costituito da un embolo, moventesi in un corpo di tromba cilindrico, a sezione molto ampia e di poca altezza,

col quale stia unita una lunga canna a pareti robuste, la pressione sul fondo sarà tanto maggiore, quanto più piccolo sarà il vano della canna, perchè dovrà essere proporzionalmente maggiore l'altezza del liquido entro la canna stessa, stando in ogni caso costante il volume del liquido contenuto. Così si può far spezzare una botte ben cerchiata coll'annettervi una sottile ed alta canna, che pure si riempie di liquido.

Pressione su le pareti laterali.

§ 81. Per le cose suesposte si comprende ancora che i singoli punti di una parete laterale di un vaso contenente un liquido risentono una pressione normale alla superficie, e corrispondente al peso di un filetto liquido, che abbia per base uno di codesti punti e per altezza la sua distanza dalla superficie libera. Epperò, immaginando un profilo verticale di una parete piana laterale bagnata, si riconosce che le singole pressioni sui suoi punti corrispondono ad un sistema di forze parallele (poichè son tutte normali alla stessa retta di profilo) le cui grandezze vanno crescendo proporzionalmente alla distanza di ciascun punto dalla superficie libera, talchè il valore medio di queste forze risponde a quello che compete al punto che ha da tale superficie la media delle distanze de' singoli punti dalla superficie stessa, qual è il centro di gravità del profilo stesso.

Quindi accade che *la pressione totale risentita da una parete piana, laterale, bagnata, comunque inclinata, eguaglierà il peso di un prisma del liquido contenuto, avente per base l'area della parete bagnata e per altezza la distanza del centro di gravità di questa dalla superficie libera del liquido.*

Il punto d'applicazione della risultante delle pressioni sofferte da tutti i punti d'una parete laterale bagnata, chiamasi *centro di pressione*, e riesce sempre un po' al disotto del centro di gravità della stessa porzione di parete. È a questo punto, e normalmente alla parete, che dovrebbero applicare una forza resistente, capace di equilibrare la pressione totale di quella parete. Col calcolo si dimostra che il centro di pressione d'una parete trapezia inclinata si trova su la retta congiungente i punti di mezzo dei due lati paralleli orizzontali, ad una distanza x dalla superficie libera data dalla:

$$(55) \quad x = -\frac{\alpha}{2} \cdot \frac{l+3v}{l+2v},$$

posto α l'altezza del trapezio, l il lato parallelo a fior d'acqua, cioè giacente a livello del liquido, ed v il lato parallelo inferiore.

Quando la parete sia rettangolare, col lato superiore a fior d'acqua, essendo $l' = l$, si ha $x = \frac{2}{3} a$; se è triangolare isoscele colla base a fior d'acqua, avendosi $l' = 0$, ottiensi $x = \frac{a}{2}$; e se è ancora triangolare isoscele, ma col vertice a fior d'acqua, essendo $l = 0$, si ha $x = \frac{3}{4} a$.

Liquidi entro vasi comunicanti.

§ 82. Le considerazioni fatte poc' anzi intorno alla pressione esercitantesi in un dato strato orizzontale possono servire a determinare anche la condizione d'equilibrio per un liquido omogeneo contenuto in due vasi, tra i quali esso abbia libera comunicazione.

Supponiamo dapprima che i due vasi comunichino fra loro inferiormente per mezzo di una canna. Allora si prenda a considerare uno strato verticale del liquido che sta in questa canna. Tale strato dovendo essere, quanto a sè, in equilibrio, dovranno essere eguali le pressioni esercitate sulle sue due facce, e determinate dalla gravità del liquido che sta nei due vasi e che comunica collo strato stesso dalle due opposte bande. Ora, potendosi considerare il detto strato liquido verticale come una parete laterale, ciascuna delle dette pressioni avrà per misura il peso del prisma di tal liquido, avente per base l'area dello strato stesso e per altezza la distanza del suo centro di gravità dalla superficie libera del liquido nell'uno dei vasi (§ 81): epperò dalle due bande dovranno essere eguali le altezze delle superficie libere ne' due vasi rispetto ad una superficie orizzontale passante pel detto centro di gravità. E ciò varrà quand'anco diversa sia la forma delle pareti laterali dei due vasi.

Ottiensi lo stesso risultato, facendo comunicare tra loro due masse liquide omogenee, contenute in separati vasi, per mezzo di un tubo ripiegato ad U, già pieno dello stesso liquido, e sostenuto superiormente. Attraverso il liquido che è nel tubo si stabilisce tosto tal rapporto di pressioni fra le due masse liquide, da dover queste ridursi ad un egual livello, se prima non l'erano, o da rimettersi tosto se lo eran prima, quando s'alza alcun po' uno de' vasi rispetto all'altro (Vedi fig. 43 nella pag. seg.).

Ma più direttamente si giunge alla stessa conseguenza, considerando una massa liquida omogenea contenuta in ampio vaso, ed immaginando, nell'interno di essa, limitate due porzioni del liquido stesso, le quali per un verso mettan capo nella superficie libera, e

per l'altro giungano a toccarsi mutuamente in qualche parte nell'interno della massa liquida. Codeste due porzioni, così solo mentalmente limitate, e con una figura qualsivoglia, dovranno soddisfare alla stessa condizione d'equilibrio, tanto che fossero contenute da

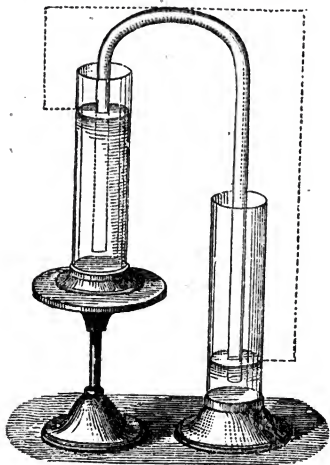


Fig. 43.

speciali pareti solide, quanto che facciano parte di un'unica massa; e quindi le superficie libere delle due parziali masse liquide, così immaginate, dovranno appartenere ad una stessa superficie orizzontale.

In altre parole, questo principio risponde direttamente all'altro suesposto § 78) che le molecole costituenti la superficie libera d'una massa liquida, in istato d'equilibrio, devono trovarsi in una stessa superficie orizzontale.

Pertanto un liquido omogeneo, entro vasi che comunicano tra loro, tiene le rispettive superficie libere in una stessa superficie orizzontale, o, come suol dirsi, ad uno stesso livello (a).

(a) Di questo principio non si dà una diretta dimostrazione sperimentale, poichè difficilmente si evita che questa non tenga implicito il principio stesso. Così, ad esempio, il catetometro od un livello qualsiasi non possono adoperarsi a riconoscere se le due superficie libere del liquido ne' due vasi siano vera-

Su questo principio riposano l'impiego del livello ad acqua, od a tubi comunicanti, e la spiegazione del sorgere delle acque dai fontanili, dai pozzi trivellati e dalle fontane artificiali.

§ 83. Quando in uno stesso vaso si versano due o più liquidi di diversa densità, tali però che non esercitino tra loro alcuna tendenza a disciogliersi reciprocamente od a mescolarsi, restando libera l'azione della loro gravità, si dispongono l'uno sovra l'altro, in ordine di densità decrescenti, e le loro superficie di mutuo contatto risultano orizzontali, purché il vaso abbia una sezione non ristretta. Così facilmente verificasì versando in largo bicchiere mercurio, acqua ed olio. Ponendoli in una boccia tappata, li si possono anche agitare per entro, che poi, lasciando la boccia per poco in quiete, vi riacquistano la predetta disposizione.

Quando poi in due vasi, comunicanti tra loro, come precedentemente (§ 82), vengano versati due liquidi di diversa natura e densità, ma non mescibili tra loro (come acqua e mercurio), il più denso, dopo aver investito il tubo di comunicazione dei due vasi, si alzerà tal poco — qualora siasene versata bastevole quantità — anche nel vaso

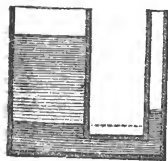


Fig. 44.

liquidi si ridurrà orizzontale, al pari delle loro superficie libere, quando essi saranno ridotti in quiete, ossia quando si ridurranno all'equilibrio le pressioni esercitantesi fra que'due liquidi là dove mutuamente si toccano. Ora, guidando per codesta superficie di separazione un piano orizzontale a segare il liquido più denso nell'altro vaso, è chiaro che quanto sta al disotto di questo piano, si nel canale che ne' due vasi, riuscirà per sé equilibrato, trattandosi di un liquido che, essendo tutto d'una natura, sarà in equilibrio, come nel caso precedente, quando ne' due vasi esso giunga ad uno stesso livello. Pertanto, avuto riguardo al principio di Pascal, converrà dire che si dovranno equilibrare tra loro le pressioni esercitate dall'alto al basso dai due liquidi che stanno al disopra della detta superficie orizzontale di separazione, estesa attraverso ai due vasi.

Ma, per quanto s'è visto addietro (§ 80), codeste pressioni, riferite in un medesimo livello, in quanto che, innanzi adoperare codesti stromenti, bisogna riconoscere sperimentalmente se essi soddisfano al loro fondamentale requisito, quello cioè di conservare in uno stesso orizzonte l'asse ottico del loro cannocchiale, nel mentre questo ruota attorno l'asse verticale dello stromento medesimo.

rite all'unità di superficie del detto strato orizzontale, saranno rispettivamente esprimibili pei due liquidi dalle:

$$P = ps \quad \text{e} \quad P' = p' s',$$

oppure dalle:

$$P = dgs \quad \text{e} \quad P' = d'gs',$$

ritenute s ed s' le altezze delle superficie libere dei due liquidi rispetto al ripetuto strato orizzontale comune, p e p' i pesi assoluti dell'unità dei liquidi stessi, d e d' le loro densità relative, g l'accelerazione di gravità nel luogo, e P e P' le indicate pressioni su l'unità di superficie.

Ora, dovendo essere $P' = P$, dovrà pur essere:

$$(56) \quad ps = p' s',$$

ovvero:

$$ds = d' s',$$

e quindi starà la proporzione:

$$s : s' = d' : d,$$

cioè, per l'equilibrio di due liquidi eterogenei, entro vasi comunicanti, le altezze delle loro superficie libere su la superficie orizzontale corrispondente al mutuo loro contatto, devono essere inversamente proporzionali alle rispettive densità.

Da questa legge si trae uno dei modi per determinare la densità relativa di due liquidi non miscibili, sotto una stessa temperatura, versandoli in due alti tubi cilindrici cogli assi verticali, che comunicano inferiormente per mezzo d'un cannello, e misurando con un catetometro le rispettive loro altezze sopra lo strato di mutuo contatto.

Condizione fisica delle pressioni ne' liquidi gravi.

§ 84. Tutte le considerazioni che si sono fatte qui sopra, con riguardo soltanto alla grandezza relativa ed alla direzione delle forze prementi, ricevono più semplice dichiarazione, ove si tenga conto della condizione fisica necessaria all'esercizio d'una pressione, cioè dello stato dinamico delle molecole rispetto alla loro gravità ed alla loro temperatura. Anzi in un liquido grave la pressione, ancor quando non sembra direttamente provocata da gravità, può considerarsi come prodotta da essa, e con tale riguardo, ridotta a misura.

Cominciamo ad esaminare il caso della pressione esercitantesi su uno strato interno ed orizzontale d'una massa liquida omogenea, quale

l'abbiamo (§ 79) esaminato col mezzo di un tubo cilindrico, munito di un disco di chiusura. Quando vediamo che la pressione esercitata di sotto in su dal liquido contro il disco vale, non solo ad impedire la caduta di questo, ma ancora a reggere il peso di altro liquido che possiamo versare nel tubo, purchè non si raggiunga il livello esterno, e quando si pensi che il peso assoluto d'un corpo tiene implicita, oltre la massa, una velocità (l'accelerazione di gravità), viene plausibile il supporre che anche codesta pressione conti fra i suoi elementi una velocità.

Ora, donde possono ricevere un impulso al moto le molecole dello strato liquido che bagna la faccia inferiore del disco, se non è dal peso stesso del liquido che all'infuori del tubo sovrasta al detto strato? Ed invero, se immaginiamo tolto il disco, il fatto del liquido che si eleva entro il tubo fino a raggiungere il livello esterno, mette in evidenza che le molecole situate nello strato orizzontale, in cui sta l'apertura inferiore del tubo, onde percorrere in salita (cioè in opposizione al moto di gravità) lo spazio che è tra il detto strato e la superficie libera del liquido, devono possedere una velocità in grandezza eguale, benchè in opposto verso, a quella che le molecole stesse acquisterebbero percorrendo in discesa uno spazio eguale all'anzidetto (§ 60).

E questa condizione sussistendo qualunque sia la profondità cui è condotta l'apertura del tubo entro la massa liquida, se ne deduce, che *ogni molecola di un liquido grave*, ancor quando noi la diciamo in istato di equilibrio o di quiete relativa, *possiede in fatto una velocità, dovuta alla sua gravità, e corrispondente a quella che essa acquisterebbe cadendo liberamente per lo spazio verticale che la separa dalla superficie libera del liquido*. Però la forza viva correlativa a questa sua velocità ed alla sua massa, provocherà una forza viva eguale e contraria, mercè la reazione elastica (tensione) contro di essa esercitata dalla molecola che le sottostà verticalmente. Questo principio fu trovato primamente da Torricelli, ed è designato appunto sotto il nome di teorema di Torricelli.

Siffatta previsione teorica può verificarsi sperimentalmente, mediante un vaso alto, a pareti verticali, pieno di liquido che mantensi a livello costante, e munito a differenti profondità rispetto alla superficie libera di cannelli d'efflusso con chiave, di sezione e lunghezza esattamente eguali. Accogliendo in un vaso volumetrico il liquido che effluirà, in tempi eguali, da ciascuno di questi cannelli, si troverà che, assai prossimamente (a), i volumi di liquido così e-

(a) Il risultato di questa esperienza vien turbato dalla cosiddetta *contrazione della vena fluida*, provocata dal conflitto delle varie direzioni del moto, che è

sciti da due cannelli, saranno direttamente proporzionali alle radici quadrate delle distanze dei centri di questi cannelli dalla superficie libera del liquido; appunto secondo la equazione (§ 55):

(34)

$$v^2 = 2gs$$

dalla quale si trae:

$$v':v = \sqrt{s'}:\sqrt{s},$$

poste v e v' le velocità acquistate cadendo rispettivamente per gli spazi s ed s' che misurano la predetta distanza dal livello superficiale del liquido.

Più spicciamente si può riconoscere codesta velocità dovuta a gravità nelle parti d'un liquido con una volgare sperienza. Abbiasi un vaso di molta capacità, al cui fondo sia adattato un tubo, dapprima verticale per un lungo tratto, e poi ripiegato dolcemente e terminante in un cannello conico, munito al suo vertice di un pertugio,

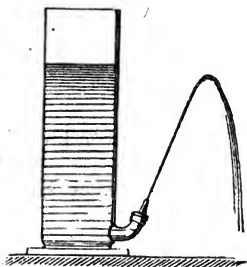


Fig. 45.

piuttosto piccolo in riguardo alla sezione del tubo e leggermente inclinato sul suo asse. Essendo il vaso empito di liquido, questo zampillerà dal detto pertugio, elevandosi ad un'altezza poco inferiore a quella della superficie libera del liquido stesso nel vaso, a motivo anche della resistenza dell'aria. Come è noto, è questo il principio delle fontane zampillanti. Ebbene, in tal caso appare chiaramente che la pressione sentita dalle molecole liquide, che stanno per isorgere dal detto pertugio, im-

plica una velocità di movimento effettivo.

È che co' questa velocità di efflusso d'un liquido da un vaso sia unicamente dovuta al moto intestino di gravità risulta anche da ciò, che

nei singoli fletti liquidi concorrenti all'apertura di efflusso del vaso. Codesta

contrazione nella sezione del liquido effluente risulta di circa $\frac{5}{8} = 0,625$ se il

liquido esce da un piccolo pertugio in lastra sottile; di 0,82 se il pertugio è munito d'un tubo addizionale cilindrico, e di 0,95 soltanto se questo tubo addizionale ha forma conica a ante la parete inclinata all'asse di circa 13°. 5. Però questo fatto modifica bensì la *portata assoluta* (volume di liquido uscito nell'unità di tempo) d'ogni apertura, ma non turba gran fatto le *portate relative* (i rapporti tra le portate effettive) delle singole aperture, se queste sono in tutto perfettamente simili. Il che basta per verificare la proporzionalità sovra asserita.

essa è indipendente dalla densità dei liquidi. Avendosi una lunga provetta calibrata e graduata quanto alla sua capacità, e munita d'un'apertura di sfogo sul fondo con chiavetta di vetro, è facile verificare che, ponendovi entro successivamente e sino ad uno stesso livello liquidi diversi, tenendo poi aperta la chiavetta per eguali tempi esciranno volumi eguali di ciascun d'essi, in quanto che il livello si abbasserà in ciascun caso sino ad una stessa divisione. Sperimentando così con mercurio, alcoole ed acqua, ebbi risultati veramente soddisfacenti.

§ 85.* Ciò posto, possiamo d'un tratto stabilire la condizione d'equilibrio, o meglio le varie forme di questa condizione, pel caso ultimamente considerato di due liquidi di differente densità entro due vasi tra loro comunicanti inferiormente.

S'è visto sopra (§ 58) che la metà della forza viva guadagnata è misura dell'energia di gravità pei corpi cadenti; epperò per lo strato di separazione di due liquidi dovranno essere eguali e contrarie le forze vive esercitantesi da ciascuno di essi su l'unità di superficie, ossia dovrà essere:

$$(57) \quad \frac{1}{2} m v^2 - \frac{1}{2} m' v'^2 = 0$$

ritenuto che m ed m' siano le masse relative dell'unità di volume dei due liquidi, e v e v' le velocità rispettivamente acquistate per gravità dalle molecole di essi che stanno nello strato orizzontale di mutuo loro contatto. Ora da questa equazione è facile dedurre le condizioni d'equilibrio pei varj casi più sopra considerati.

E prima si noti che la stessa gravità ci porge una chiara espressione della massa colla relazione $m = \frac{p}{g}$ trovata sopra (§ 57), e quindi la precedente (57) può trasformarsi nella:

$$(58) \quad \frac{p}{2g} v^2 - \frac{p'}{2g} v'^2 = 0$$

posti p e p' i pesi assoluti dell'unità di volume de' due liquidi, e g l'accelerazione di gravità nel luogo.

Ma, d'altronde, secondo le leggi del moto dei gravi, sarà (§ 55):

$$s = \frac{1}{2g} v^2 \quad \text{ed} \quad s' = \frac{1}{2g} v'^2$$

ponendo s ed s' gli spazi che devono aver percorsi rispettivamente le molecole dei detti liquidi per acquistare le velocità v e v' . Pertanto, nella (58) surrogando i valori dati da queste due, si ottiene:

$$(59) \quad p s - p' s' = 0;$$

la quale corrisponde esattamente alla (56) trovata sopra per l'equilibrio di due liquidi eterogenei, dietro semplici considerazioni statiche.

E qui si osservi che ciascuno dei termini della (59) esprime il lavoro motore della gravità corrispondente all'esercizio delle pressioni interne; e perciò, anche in questo caso, si riconosce la eguaglianza tra il lavoro motore d'una forza operante in un corpo e la metà della forza viva da questo acquistata, come s'è trovato precedentemente per altro caso (§ 58).

Dalla (59) si trae altresì la condizione d'equilibrio per un liquido omogeneo contenuto in due vasi comunicanti, poichè, avendosi in tal caso $p' = p$, dovrà pur essere:

$$s' = s,$$

cioè le superficie libere del liquido si dovranno trovare ad un'eguale altezza rispetto ad una superficie orizzontale, e quindi faran parte di una stessa superficie orizzontale, come si disse al § 82.

La stessa equazione (59), come pure la (57), porgono anche la misura della pressione P esercitata e sopportata dalle molecole d'un dato strato orizzontale di un liquido, e propriamente per l'unità di superficie del medesimo si ha:

$$P = p s,$$

come si è direttamente trovato al § 80, oppure:

$$P = \frac{p}{2g} v^2,$$

la quale significa che le molecole interne d'una massa liquida spiegar devono, a cagione soltanto della loro gravità, una forza viva corrispondente alla velocità che acquisterebbero cadendo dalla superficie libera di tal massa sino al livello in cui si trovano.

§ 86. Codesto moto effettivo molecolare può essere direttamente reso manifesto dalla seguente esperienza, la quale è ricordata di solito per dimostrare la pressione esercitantesi su le pareti laterali dei vasi. Un vaso cilindrico di qualche altezza, empito di acqua, e munito, poco al disopra del fondo, di una breve tubulatura con chiave, coll'asse perpendicolare alla parete laterale, è sostenuto, per mezzo di opportuno galleggiante (a), sulla superficie di altr' acqua

(a) Riesce comoda a quest'uopo una larga e bassa scatola di latta, che chiudasi a tenuta di liquido, sul fondo della quale, per rendere l'equilibrio stabile, si pone uno strato di sottili pallini di piombo.

contenuta in ampio bacino. Equilibrato per bene il vaso, quand' è chiusa la chiave, si osserva che, appena questa venga aperta, mentre si ha l'efflusso del liquido dalla tubulatura, il vaso col suo galleggiante si mette in moto, in direzione contraria a quella dell'efflusso.

Questo movimento è spiegato nel seguente modo. Immaginata una sezione orizzontale del liquido rinchiuso, e considerata in essa una retta passante pel suo centro di figura, si avranno agli estremi di tale retta due pressioni uguali in grandezza (perchè rispondenti ad uno stesso strato orizzontale), ma di opposto verso, esercitate dalle mo-

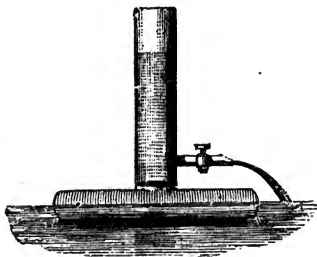


Fig. 46.

lecole del liquido contro la parete solida, le quali pressioni tenderanno a produrre nei corrispondenti punti della parete stessa due movimenti eguali ed opposti, che perciò si elidono tra di loro. E così dicasi di tutti gli altri punti del perimetro di detta sezione del vaso: la tendenza al movimento di uno di essi sarà equilibrata da un'opposta ed eguale tendenza esercitata in altro punto diametralmente opposto al primo. Ed a queste due eguali e contrarie pressioni del liquido sul solido si contrapporranno per reazione elastica due eguali e contrarie pressioni del solido contro il liquido. Or quando in uno di codesti punti si toglierà la reazione della parete contro il liquido e la pressione di questo si esaurirà in un moto effettivo di efflusso, l'altra pressione esercitata dal liquido contro il punto della parete ad esso diametralmente opposto, si manifesterà efficace, spingendo il vaso in quella direzione.

Tutta questa dichiarazione è fondata, ma non è completa. Poichè, altra cosa è una semplice tendenza ad un movimento, ed altra un moto effettivo. Qui l'esperienza ci mostra un moto attuale del vaso, il quale anzi si continua in esso, sebbene con diversa velocità, finchè continua l'efflusso del liquido; epperò convien dire che la pressione del liquido sul solido, la quale fa luogo a codesto movimento, implichi una effettiva impulsione del liquido contro la parete, impulsione che è dovuta, come sopra si accennava, alla effettiva velocità acquistata dalle molecole liquide per gravità, in relazione alla loro distanza dalla superficie libera. E perciò dovranno pur corrispondere ad altrettante analoghe impulsioni tutte l'altre pressioni che similmente si esercitano dal liquido contro i singoli punti bagnati della parete interna del vaso.

L'*arganetto idraulico* porge una chiara applicazione di codesto principio. Esso consiste in un vaso, suscettivo di ruotare attorno al suo asse di figura, diretto verticalmente, e munito inferiormente di una tubulatura metallica, dalla qual- si diparte un numero pari di tubetti metallici, col loro asse normale a quello di rotazione, a guisa

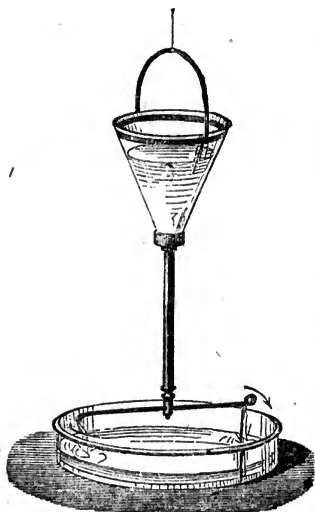


Fig. 47.

dei raggi d'una ruota, ciascuno dei quali poi con dolce indessione va a terminare in direzione perpendicolare a quella di sua inserzione nella tubulatura centrale. Quando si lascia effluire da questi tubi il liquido contenuto nel vaso, si determina un moto di rotazione del vaso, in verso contrario a quello dell'efflusso del liquido, e con velocità che decresce col diminuire dell'altezza del liquido entro il vaso sovra il centro dell'apertura dei tubetti: poichè riescono efficaci e conspiranti le pressioni esercitanti dal liquido contro que' punti delle interne pareti dei tubi che riescono opposti alle aperture. Laonde codeste pressioni, determinando e mantenendo un moto effettivo del vaso, devono corrispondere ad una attuale impulsione delle molecole liquide contro le pareti del vaso stesso.

D'altronde la piena analogia del moto nell'*arganetto idraulico* col moto delle girandole dei pirotecnici, col moto d'ascesa dei razzi, e col moto di retrocessione dell'*eolipila* a vapore e delle armi esplodenti, manifesta l'analogia nella condizione fisica d'una pressione, sia in un fluido aeriforme, sia in un fluido liquido. *In ogni caso una pressione è dovuta ad, un attuale moto intestino dei fluidi, e quindi è l'espressione d'una forza viva molecolare.*

§ 87. Che la pressione esercitata da un liquido sia effetto di movimento si deduce da altri fatti assai noti.

Quando un liquido scorrente in un canale incontra un ostacolo al suo corso, s'innalza contro di esso al disopra del proprio livello, e tanto più quanto maggiore sarà la sua velocità. Similmente quando un liquido che fluisce velocemente per un lungo tubo, viene d'un

tratto ad essere fermato col chiudere la chiave del tubo di scarico, le parti della interna colonna liquida, premendosi successivamente così da elidere la rispettiva loro velocità, determinano un repentino aumento di pressione contro le pareti del tubo, capace talora di squarciarle. È questo fatto che suggerì a Montgolfier l'idea del suo ariete idraulico, nel quale si usufruisce la forza viva dell'acqua, che scorre in un lungo tubo, per sospingerne una parte ad un più alto livello.

Ma più significativo a tal riguardo è quest'altro fatto, considerato da D. Bernoulli. Quando un liquido si muove entro un tubo orizzontale, sollecitato da una pressione comunque comunicatagli, la pressione che esso esercita contro le pareti di tal tubo sarà minore di quella che eserciterebbe, a pari condizioni nel resto, stando fermo, e tanto più quanto maggiore sarà la sua velocità. Secondo Bernoulli, la pressione effettiva p su l'unità di superficie della parete si avrà sottraendo dalla pressione s che avrebbesi nello stato di quiete (e corrispondente all'altezza della colonna del liquido stesso che varrebbe a produrla) la pressione s' corrispondente all'altezza da cui dovrebbe cadere il liquido per acquistare la velocità v ond'esso è animato in tal luogo della parete, giusta la relazione $v^2 = 2g s'$; epperò sarà:

$$(60) \quad p = s - s' = s - \frac{v^2}{2g}$$

Qualora l'altezza s' fosse eguale ad s , s'avrebbe $p=0$, cioè nulla sarebbe la pressione su la parete: che se s' fosse maggiore di s ,

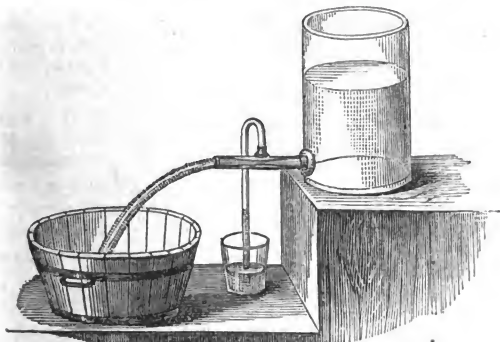


Fig. 48.

s'avrebbe una pressione negativa, cioè s'eserciterebbe su la parete stessa una trazione verso l'asse del tubo.

Questo stato di cose può riconoscersi sperimentalmente coll'applicare ad un punto del tubo di condotta o di efflusso del liquido un cannello ricurvo all'esterno di esso, il cui estremo peschi nell'acqua contenuta in un vaso: se la pressione anzidetta sarà negativa, produrrà un'aspirazione, la quale farà sollevare, proporzionatamente ad essa, l'acqua nel cannello rispetto al livello esterno.

Pei tubi di condotta d'acqua, dove la sezione non sia costante, si riconosce in simil modo, esservi diminuzione di pressione dove il tubo aumenta rapidamente di sezione, ed all'opposto ov'esso si restringe v'è aumento di pressione. Nel primo caso, praticando nella parete del tubo, in prossimità del luogo ove la sezione del tubo si allarga, alcuni pertugi, per questi l'aria esterna tenderà a penetrare nell'interno del tubo ed a mescersi coll'acqua. Pel qual fatto s'intende come operino i così detti *mantici idraulici*, coi quali si utilizza la cadente d'acqua per attivare la combustione in alcune fucine.

§ 88.* È pur meritevole di nota il fatto che la percossa prodotta per gravità da un liquido cadente contro un ostacolo che lo fermi, corrisponde alla forza viva guadagnata da esso nella caduta (§ 58), giusta la :

$$(38) \quad p s = \frac{1}{2} m v^2,$$

posto s lo spazio di caduta, p il peso assoluto ed m la massa relativa del liquido cadente, e v la velocità acquistata percorrendo l'altezza s .

Questo fatto venne messo in chiaro da Galileo colla seguente ingegnosa speriienza. Da un estremo del flagello di una robusta e sensibile bilancia pendevano, insieme collegati, due secchi: l'uno, il superiore, pieno d'acqua e munito al fondo d'un pertugio, che all'uopo potevasi facilmente aprire, e l'altro vuoto, situato al disotto e discosto dal primo oltre un metro: il peso de' due secchi e del liquido era per bene equilibrato da opportuno contrappeso, applicato all'altro estremo del flagello. Aperto di poi il detto pertugio, la bilancia traboccò subito dalla banda del contrappeso, poichè il liquido effluente dal vaso superiore, finchè è in moto di discesa, non pesa punto su la bilancia; ma, tosto che esso giunse a toccare il fondo del secchio inferiore, il flagello si rilevò e dopo brevi oscillazioni si ridusse e mantenne in bilico, per tutto il restante tempo della caduta del liquido dall'un secchio all'altro. Provasi con ciò che la velocità colla quale il liquido giunge ad urtare il secchio inferiore è collegata, ad ogni istante, collo spazio di caduta e col peso del liquido in moto secondo le:

$$v^2 = 2 g s \quad \text{e} \quad p = m g,$$

le quali, insieme combinate, danno appunto la (38).

D'altra parte, anche in questo caso, si riconosce il principio generale che regola l'esercizio d'ogni macchina (§ 77). Quando cioè una forza motrice (il peso assoluto del liquido cadente), producendo un movimento, genera una data quantità di forza viva, se di poi questa s'estingue contro una resistenza, ridà a questa una forza motrice eguale a quella che l'ha generata.

Il predetto sperimento ben riesce con due vasetti in vetro, sistemati all'incirca come s'è detto sopra, ed usando mercurio invece d'acqua, per evitare l'evaporazione del liquido cadente.

§ 89.* Si è più sopra accennato (§ 79) che in un liquido grave, per quanto sia piccola la sua comprimibilità, la densità deve andar crescendo da strato a strato coll'aumentare della loro distanza dalla superficie libera. Benché piccolissimo, quest'incremento può esser messo in evidenza, mercé il seguente sperimento. Esso è analogo ad altro fatto da Galileo, coll'intento di mostrare la piccolissima resistenza opposta dall'acqua allo scorrere delle sue molecole le une su le altre, quando non mutisi la distanza media dei rispettivi loro centri di figura.

Abbiassi un palloncino di vetro, del volume d'incirca mezzo decimetro cubo, nel quale si versi tal quantità di mercurio o di pallini di piombo che il peso totale di esso (in un col tappo di gomma che ne chiude l'apertura e porta superiormente una piccola cassulina metallica) sia di poco inferiore a quello di un egual volume di acqua, cosicchè posto nell'acqua contenuta in un profondo vaso di vetro, non si sommerga completamente. Aggiungendo allora su la cassula qualche minuto pallino di piombo, lo si fa sommergere appena appena: quindi con alcuni finissimi granelli di arena silicea, pesanti circa un decimo di milligrammo, si può ottenere di farlo discendere nell'acqua sino ad un certo segno, dove si ferma, a prova che più sotto il liquido ha una maggiore densità e più sopra una densità minore della media densità del pallone. In tal condizione poi l'aggiunta di un solo dei detti granellini varrà a far discendere ancora il pallone di qualche centimetro.

Ciò prova adunque non solo essere ben minima la resistenza opposta dall'acqua al muoversi entro di essa di un solido di notevole volume, ma altresì la continua spinta che il liquido esercita contro il solido per impedirne la caduta, alla qual spinta corrisponder deve un effettivo moto d'impulsione di basso in su delle molecole liquide toccanti il solido stesso.

Principio di Archimede.

§ 90. Le precedenti osservazioni giovano a chiarire un altro principio, che è comunemente attribuito ad Archimede, e che però dal Galileo fu ridotto a forma veramente scientifica. Ed è che *un solido galleggiante, oppur sommerso in un liquido, risente su la sua superficie bagnata tali pressioni, la cui risultante è diretta verticalmente dal basso all'insù, e corrisponde al peso assoluto di un volume del liquido involgente, eguale al volume dello spazio occupato dal solido al disotto della superficie libera orizzontale del liquido stesso.*

Infatti, si prenda a considerare, nell'interno di una massa liquida, una limitata porzione di questa, di figura qualsivoglia, e si supponga che essa, d'un tratto, si riduca allo stato solido, senza però mutare le distanze delle rispettive molecole, ossia senza mutare di densità. Se codesta porzione di liquido stava dianzi in equilibrio, in seno della restante massa, dovrà rimanervi ancora dopo; poichè il legame che supponemmo sorto tra le sue molecole non deve aver modificato la grandezza dello sforzo che la massa faceva per iscendere, e che è misurato dal suo peso assoluto (§ 57). Epperò uno sforzo, eguale a questo in grandezza, ma opposto nel verso, dovrà esercitarsi dal liquido involgente colla risultante (α) delle pressioni operanti su l'insieme della superficie di tal solido fittizio.

Questo argomento può ricevere una forma più evidente e sperimentale colla seguente osservazione. Entro una pozzetta un po' capace, abbiassi una miscela d'alcole e di acqua, in tal proporzione da offrire una densità eguale a quella dell'olio d'ulive, tantochè vi si possa far stare entro nuotante una grossa goccia d'olio, la quale, per coesione e per l'azione contrattile della sua superficie, tenderà ad assumere la figura sferica. Codesta goccia d'olio, appunto come farebbe un solido la cui densità media fosse eguale a quella del liquido involgente, agirà col proprio peso assoluto per rimuovere innanzi a sè la miscela alcolica; ma questa la terrà a segno colla

(α) Avvertasi che la somma delle pressioni esercitate dal liquido su la superficie del solido sommerso, ha relazione non solo col volume, ma ancora colla figura di esso; mentre la risultante di questa pressione, ossia la spinta di basso in su, ha solo attinenza col volume del solido. Quindi, per solidi di egual volume, ma di diversa figura, la somma delle pressioni varierà, proporzionalmente alla loro superficie, laddove la spinta esercitata in opposizione alla gravità sarà per essi eguale.

pressione esercitata su la sua superficie, giacchè la risultante di tal pressione corrisponde al detto peso assoluto. Laonde questo apparato equilibrato deve essere il risultato dei moti molecolari di gravità e di tensione, che sono nei due liquidi a mutuo contatto, e che fra loro si contrastano.

Se poi la detta miscela colla grossa goccia in essa nuotante sarà contenuta in un vaso piezometrico, insieme con un piccolo manometro ad aria rinchiusa, e se, col muovere la vite unita all'embolo, si aumenterà la pressione, anche di tre o quattro atmosfere, non si rileverà alcuna mutazione nella forma della goccia. Il che fa prova del suesposto principio di Pascal (§ 77); giacchè, se le pressioni trasmesse dal liquido involgente alla goccia avessero una diversa intensità nelle varie parti, la figura di questa lo accennerebbe tosto, col vario inflettersi della superficie (a).



Fig. 49.

§ 91.* Sebbene dopo le cose dette, non ci sembri necessario il dare altre dimostrazioni sperimentali del principio di Archimede, quali si sogliono descrivere ne' corsi elementari di fisica, vogliamo però qui ripeterne talune, in quanto porgono occasione di alcune utili considerazioni od applicazioni.

Si abbia una squisita bilancia idrostatica (il cui flagello può essere alzato od abbassato con opportuno ingranaggio), e si abbiano due cilindri metallici, uno compito e l'altro cavo, il cui vano eguagli il volume del primo, per modo che questo, introdotto nell'altro, ne riempia il vano giustamente. Si sospendano unitamente, il pieno sotto al cavo, ad uno dei gusci di detta bilancia, equilibrando il peso di entrambi con opportuna tara, posta su l'altro guscio; e si disponga al disotto di essi una capace tazza con acqua, la cui temperatura vari il più lentamente possibile.

Appena si abbasserà il flagello, cosicchè il cilindro pieno cominci ad immergersi nell'acqua sottoposta, la bilancia traboccherà dall'altra

(a) Codesto modo di dimostrazione sperimentale, suggerito dal prof. G. Pisati, è certamente preferibile a quello che si espone in alcuni trattati di fisica. Una sfera che sia munita di un piccol corpo di tromba e di vari cannelli ripiegati e cogli assi paralleli, viene empita di acqua, ed esercitando poi una pressione su l'embolo, l'acqua dovrebbe alzarsi egualmente ne' cannelli (supposti calibri e di egual diametro). Quest'esperienza può invece giovare a far comprendere che una pressione non s'esercita mai senza un moto effettivo, come si è detto qui sopra (§ 84).

banda. A prima giunta potrebbesi pensare che questo fatto provenisse da una resistenza opposta dal liquido al lasciarsi penetrare dal solido; ma l'esperienza, che riportammo poco sopra (§ 89), dimostra essere codesta resistenza estremamente piccola. E poichè, mano mano che il cilindro solido si affonda nel liquido, cresce lo sforzo che esso deve fare per affondarsi ulteriormente, si deve invece ricono-

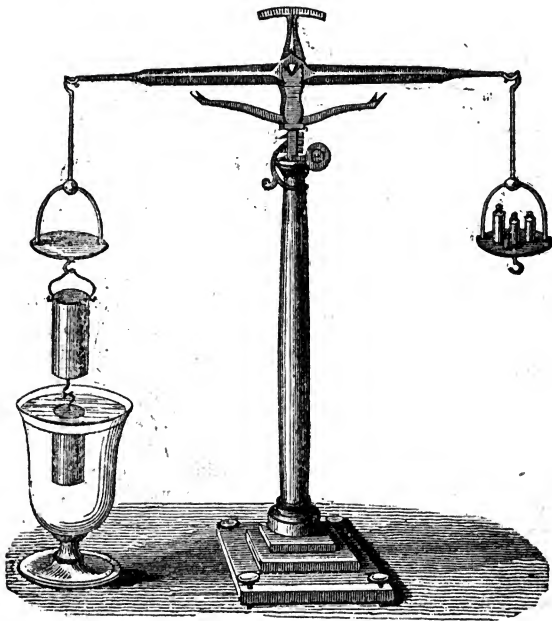


Fig. 50.

scere un effettivo impulso che le molecole del liquido per il loro moto di gravità, correlativo alla loro distanza dalla superficie libera (§ 84), esercitano contro la superficie del cilindro in direzione opposta al peso di questo. Ed in vero il moto attuale di trabocco della bilancia rivela direttamente un moto od impulso esercitato dal liquido contro il solido, perocchè un movimento non può essere prodotto se non da altro movimento.

Fatto è poi che, qualora si aggiungano sullo stesso guscio che porta i cilindri, tali pesi che riducano ancora in equilibrio il flagello quando il cilindro è sommerso, così da avere la sua base superiore a fior di liquido, questi pesi misureranno l'impulso di gravità, ossia la pressione che il liquido stesso esercita contro l'area della base inferiore del cilindro; mentre poi si elidono scambievolmente (due a due pei punti diametralmente opposti) le analoghe impulsioni esercitate su tutti i punti della superficie cilindrica del solido stesso. Ora, come abbiám veduto (§ 80), il valore della detta pressione su la base inferiore corrisponderà al peso di un cilindro dello stesso liquido, avente per base l'anzidetta area e per altezza la distanza dello strato liquido che la tocca dalla superficie libera del liquido: ed il volume di siffatto cilindro liquido evidentemente corrisponde a quello del cilindro solido sommerso.

Laonde si otterrà ancora l'equilibrio nella bilancia se, tolti i pesi ultimamente applicati per far sommergere il cilindro pieno, si empirà giustamente il cilindro cavo superiore (cioè sino al livello della sua apertura) con acqua alla stessa temperatura della sottoposta.

Però quest'ultima esperienza difficilmente riesce a dovere, se la bilancia non è veramente squisita, giacchè troppe sono le difficoltà di costruzione, affinchè la capacità del cilindro cavo corrisponda esattamente al volume del cilindro pieno, e siano eguali le temperature medie del liquido versato nel cilindro cavo, e di quello involgente il cilindro pieno. Tanto che gioverà invece eseguire quest'altra prova.

Tenuti in serbo i pesi che poc' anzi dicemmo aver servito a [misurare la risultante delle pressioni esercitate dal liquido contro il

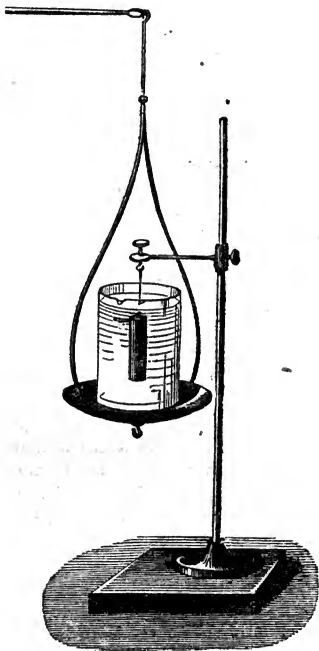


Fig. 51.

solido sommerso, si disponga la stessa tazza, od altra con acqua ad eguale temperatura, su un piatto d'una bilancia di forma comune, equilibrando il peso di essa con opportuno contrappeso posto sull'altro guscio. E si sospenda il predetto cilindro pieno, per mezzo di un filo ad un sostegno esterno alla bilancia, sicchè ne regga interamente il peso, stando il cilindro all'infuori, ma al disopra della apertura della tazza. Se allora si abbasserà il cilindro (col muovere il filo od il sostegno), appena esso toccherà la superficie libera dell'acqua, la bilancia traboccherà dalla banda ov'è la tazza. E ciò ancora a cagione dell'impulso esercitato dal liquido contro il solido per sollevarlo; il quale impulso, incontrando la resistenza di elasticità e di gravità del solido, si converte in un equivalente impulso dato dal solido al liquido in opposto verso. Però collocando sull'altro guscio della bilancia i sovradetti pesi, e lasciati così il precedente contrappeso, la bilancia si rimetterà in posizione d'equilibrio, quando il cilindro sia tanto affondato, che la sua base superiore stia a fior di liquido.

Devesi quindi inferire che la risultante delle pressioni esercitate dal liquido contro il solido sommerso, misurata colla prima esperienza, sia eguale in grandezza alla risultante delle pressioni esercitate dal solido sommerso contro il liquido involgente, qual è misurata da questa seconda esperienza. Ma, in ogni caso, il peso che si deve applicare sulla bilancia, quando il solido è sommerso, misura e fa prova dell'impulso esercitato per gravità e per elasticità dal liquido contro il solido.

§ 92. Il principio di Archimede è comunemente espresso con una forma meno propria, dicendosi: che un solido immerso in un liquido perde tanto del suo peso quant'è il peso del liquido spostato. Primamente il solido non può *perdere* in niun modo il peso, che è proprietà inerente alla sua materia; bensì il solido immerso nel liquido offre un peso apparente minore del suo peso reale, e la differenza tra questi due pesi risponde appunto al peso reale di un volume del liquido involgente, eguale a quello che in esso presenta il solido.

E qui approfittiamo di una giudiziosa osservazione di Galileo, che cioè quel liquido, che impropriamente dicesi *spostato* dal solido, onde questo galleggi su di quello, non solo può avere un volume minore dello spazio occupato dalla porzione immersa del solido, ma può questo volume essere ridotto piccolo quanto si vuole. Egli dimostrava codesto asserto, prendendo un cilindro di legno, di notevoli dimensioni, tali però che esso potesse entrare e capire nel vano di un vaso cilindrico, il cui diametro fosse di poco minore di quello del cilindro stesso. Allora potrà bastare un piccolo strato di acqua, posta

nel fondo di quel vaso, a reggere al peso del detto cilindro, alzandosi essa a riempire l'angusto vano che rimarrà fra la parete interna del vaso e la superficie cilindrica del solido. Ed è pur chiaro che il volume dell'acqua da usarsi per quest'uopo sarà tanto minore, quanto minore sarà la differenza fra i predetti due diametri.

Anche in questa esperienza di Galileo si può riconoscere, e più chiaramente che in altre, essere la pressione di un liquido contro un solido la manifestazione di un moto attuale nelle parti del liquido, dovuto alla propria gravità. Infatti, quando si introduce il cilindro solido nel vaso cilindrico, nel cui fondo s'è predisposto uno strato d'acqua, affinché questa possa esercitare contro la base inferiore del solido una pressione eguale al peso del solido, dovrà innalzarsi, nell'interstizio sovraddetto, a tal punto che la velocità acquistata in corrispondenza alla caduta per una eguale altezza sia tale che il prodotto di quest'altezza per l'area della base, per la densità del liquido e per l'accelerazione di gravità dia un peso assoluto eguale a quello del solido (§ 85).

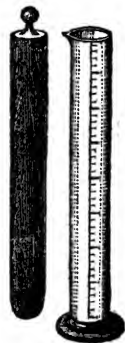


Fig. 52.

§ 93. Il principio di Archimede trovò molte ed importanti applicazioni anche nella scienza. Esso porge al fisico un mezzo assai pronto e sicuro per determinare il volume di un solido o la capacità di un vaso di figura qualsivoglia, o per desumerne, nei casi di figure regolari, alcune delle loro dimensioni.

Infatti, quando si abbia un liquido la cui densità sia ben determinata sotto diverse temperature (come possiamo ritenere per l'acqua dopo le esperienze di Despretz, di Müncke, di Pierre e di Rossetti, e per il mercurio in seguito a quelle di Dulong e Petit, e di Regnault), il precedente problema si riduce a trovare la differenza tra il peso apparente del solido sommerso in tal liquido ed il peso reale del solido stesso; oppure a trovare il peso reale del liquido che riempie giustamente il vano del vaso.

E qui per *peso reale*, sia del solido, sia del liquido, intendiamo la somma del peso *apparente* di questi corpi, determinato entro l'aria atmosferica, e del peso di un volume dell'aria stessa eguale a quello di siffatti corpi. Poiché un fluido aeriforme esercita sovra un solido in esso immerso una pressione, la cui risultante è — del pari che per un fluido liquido — determinata dal principio d'Archimede.

Anzi, nel caso in cui l'acqua adoperata per queste determinazioni abbia la temperatura di 40°C, od altra molto prossima ad essa e,

quando si assuma per unità dei pesi il grammo, si potrà ritenere che quel numero, il quale esprime in grammi il peso dell'acqua, il cui volume corrisponde a quello del solido, oppur riempie la capacità del vaso, esprimerà altresì, in centimetri cubi, il volume ricercato; giacchè nel sistema metrico decimale francese il grammo è appunto il peso reale di un centimetro cubo di acqua pura a 4° (§ 11).

Quando poi la temperatura sarà notevolmente diversa, converrà dividere il predetto peso di acqua per la densità relativa dell'acqua stessa a codesta temperatura. Poichè, posto v il volume ricercato, d la densità dell'acqua alla temperatura t , come si dirà parlando della dilatazione termica dei corpi, si avrà:

$$v = \frac{p}{d} = p(1 + \delta t)$$

ponendo δ il coefficiente medio di dilatazione dell'acqua da 0° a t , o piuttosto ponendo $1 + \delta t$ il volume che presenta a t l'acqua che a 4° offre l'unità di volume.

Quando però si tratti di determinare il volume di un solido col precedente metodo, conviene che il solido stesso presenti una superficie continua e non sia solubile nell'acqua, nè da essa chimicamente modificabile. Se il solido sarà così poroso da essere permeabile, o se sarà solubile, converrà rivestirlo di un sottile strato di cera fusa o di vernice, della quale si potrà determinare il volume, mediante la differenza nel peso del solido, prima e dopo l'applicazione di essa e mercè il valore della densità propria della cera o della vernice.

E quando, per mezzo di un filo, si sospende ad un guscio della bilancia idrostatica il solido da sommergersi per determinarne il volume, converrà che un tal filo sia il più sottile possibile, e che ad ogni modo si tenga conto della pressione esercitata dal liquido sulla porzione del filo che rimane sommerso in un col solido, con riguardo al volume del filo stesso, dedotto dal rapporto tra il suo peso e la sua densità.

Devesi pur badare che non rimangano bollicine d'aria aderenti al solido od al filo, le quali più facilmente si svolgono quando l'acqua involgente il solido va aumentando la propria temperatura.

E soprattutto poi è necessario determinare per bene, nell'atto in cui si fa la pesata, la temperatura dell'acqua in quello strato che è occupato dal solido sommerso, mediante uno squisito termometro a serbatoio cilindrico, la cui lunghezza poco differisca dall'altezza dello strato anzidetto.

Per queste determinazioni è indispensabile usare una bilancia precisa e squisita, capace cioè di valutare i pesi all'approssimazione di

un milligrammo. Converrà dunque riconoscere dapprima, col metodo della sostituzione dei pesi, se la bilancia sia precisa: e, poichè è difficile che ciò si verifichi a tutto rigore, converrà impiegare, massime nei casi in cui il carico della bilancia eccede un ettogrammo, il metodo della doppia pesata (§ 53).

Devesi anco avvertire che il peso indicato dai pezzi metallici, rappresentanti i pesi convenzionali, è ancor esso apparente, in quanto sopportando la pressione dell'aria atmosferica, lo sforzo che effettivamente essi esercitano sul corrispondente braccio di leva della bilancia è dato dalla differenza fra il loro peso reale ed il peso di un egual volume di aria. Ora, dato essendo il metallo onde sono costituiti, si avrà il loro volume col dividere il loro peso (cioè il peso che son ritenuti rappresentare) per la densità relativa del metallo stesso. Ove trattisi di ottone, come è nel più dei casi, questa densità è prossimamente 8,28.

Crediamo opportuno, per le predette determinazioni, di esporre qui di seguito una tavola, che porge la densità relativa dell'acqua a diverse temperature, secondo i dati di Rossetti, come si dirà a suo luogo. Aggiungiamo un'altra tabella, la quale porge il peso in grammi di un decimetro cubo di aria a diverse temperature e pressioni, il qual peso è utile per trovare la differenza tra il peso reale ed il peso apparente de' corpi nell'aria.

Densità relativa dell'acqua.

Temperatura	Densità	Temperatura	Densità	Temperatura	Densità
0°	0,99987	11°	0,99965	22°	0,99783
1	0,99993	12	0,99955	23	0,99760
2	0,99997	13	0,99943	24	0,99737
3	0,99999	14	0,99930	25	0,99712
4	1,00000	15	0,99916	26	0,99687
5	0,99999	16	0,99900	27	0,99660
6	0,99997	17	0,99884	28	0,99633
7	0,99993	18	0,99865	29	0,99609
8	0,99989	19	0,99846	30	0,99576
9	0,99982	20	0,99826	35	0,99418
10	0,99975	21	0,99805	40	0,99137

Peso d'un litro d'aria

in grammi (a)

Temperatura	740 millim.	Differenza verticale per 1°	750 millim.	Differenza verticale per 1°	760 millim.	Differenza verticale per 1°	Differenza orizzontale	
							per 10 mill.	per 1 mill.
0°	1,2487		1,2757		1,2927		170	17
5	1,2360	45	1,2527	46	1,2694	47	167	17
10	1,2142	44	1,2356	44	1,2470	45	164	16
15	1,1930	42	1,2092	43	1,2253	43	161	16
20	1,1726	41	1,1885	42	1,2043	42	158	16
25	1,1529	39	1,1685	40	1,1841	40	156	16
30	1,1339	38	1,1495	39	1,1645	30	133	15

§ 94. Il principio d'Archimede porge altresì la base a parecchi de' metodi usati per determinare il peso specifico dei solidi e dei liquidi, de' quali ora diremo.

Peso specifico de' solidi e de' liquidi.

§ 95. Chiamandosi *peso specifico relativo* di un corpo (§ 57) il rapporto fra il peso relativo di un dato volume del medesimo a 0° ed il peso relativo di un egual volume d'acqua a 4°, può quest'ultimo venir determinato mercè la spinta di sollevamento che l'acqua esercita su di un solido in essa sommerso, oppure mercè la spinta di depressione che esercita un solido sull'acqua, entro cui vien sommerso (§ 91).

(a) La suesposta tavola del peso *p* in grammi di un decimetro cubo d'aria fu calcolata mercè la relazione:

$$p = \frac{1,29274}{1 + \delta t} \cdot \frac{b}{760},$$

ove *b* sia la pressione barometrica ridotta a 0°, *t* la temperatura e δ il coefficiente di dilatazione cubica dell'aria, secondo che si dirà avanti.

Così per la determinazione del peso specifico dei solidi si possono usare i seguenti mezzi: la bilancia idrostatica, la bilancia comune, la boccetta e l'areometro di Nicholson.

§ 96. Colla bilancia idrostatica converrà dapprima misurare il peso relativo del solido proposto, quale esso appare nell'aria; e di poi il peso di un egual volume di acqua quando, sorretto da un sottil filo al guscio della bilancia, lo si fa sommergere nell'acqua, ponendo sul guscio stesso i pesi voluti per ricondurre la bilancia all'equilibrio, lasciati ancora sull'altro guscio i pesi che già vi si eran posti.

Se non fosse l'influenza dell'aria, il rapporto tra i due pesi così determinati darebbe direttamente il peso specifico cercato; fuorché lo si dovrebbe moltiplicare per la densità dell'acqua, quando la temperatura di essa differisse da 4°. Ma, volendo tener conto della predetta influenza, il problema appare, a prima giunta, indeterminato, poichè, per avere il peso reale del solido, converrebbe conoscere il volume, il quale ci è dato solo per approssimazione colla seconda pesata. Il problema però si rende solubile con sufficiente precisione, usando il metodo delle approssimazioni successive.

Siano p il peso reale del solido; p i pesi posti su l'un guscio per equilibrare il peso apparente del solido nell'aria; p' i pesi posti sull'altro guscio, da cui pende il solido, per rimettere in equilibrio la bilancia, quando esso è tutto sommerso nell'acqua avente la temperatura t ; v' il volume del solido alla stessa temperatura; a il peso dell'unità di volume dell'aria ambiente; d' e d'' le densità del solido e dell'acqua alla temperatura t , e π il peso specifico del metallo di che son formati i pesi di misura.

Si avrà una prima equazione, eguagliando fra loro gli sforzi esercitanti su i due bracci del flagello, quali sono il peso apparente del solido ed il peso apparente dei pesi p ; il che dà:

$$(61) \quad p - a v' = p \left(1 - \frac{a}{\pi} \right);$$

ed una seconda equazione è data similmente nella seconda pesata, cioè:

$$(62) \quad p - d'' v' + p' \left(1 - \frac{a}{\pi} \right) = p \left(1 - \frac{a}{\pi} \right).$$

Un primo valore approssimato di v' si avrà assumendo $p' = v' d'$, che posto nella (61), darà un valore approssimato di p , il quale posto nella (62), darà un valore più approssimato di v' . Ove occorra

una maggiore approssimazione, si potrà introdurre questo secondo valore di v' nella (61), la quale darà p più approssimato, e quindi colla (62) un terzo valore di v' .

Allora s'avrà:

$$d' = \frac{p}{v' d''},$$

e quindi la densità d del solido ed il suo volume v alla temperatura 0° s'avranno dalle:

$$d = d' (1 + \delta' t), \quad \text{e} \quad v' = v (1 + \delta' t),$$

posto δ il coefficiente di dilatazione cubica del solido stesso.

Nelle precedenti formole si prenderanno per α i valori dati dalla tavola esposta a pag. 140, secondo le particolari condizioni di temperatura e di pressione dell'aria in ogni caso.

§ 97. Qualora non si possa disporre di una bilancia idrostatica, si potrà usare per queste determinazioni anche una bilancia comune, purché sia riconosciuta giusta, oppure la si usi col metodo della doppia pesata.

Dopo d'avere, come dianzi, determinato il peso apparente del solido nell'aria, lo si sospenderà all'infuori della bilancia, sulla quale si sarà equilibrato con opportuna tara il peso apparente di una tazza contenente acqua; ed in questa facendo poi sommergere il solido, in un modo analogo a quello dichiarato a pag. 135, si avrà la risultante delle pressioni da esso esercitate sul liquido, e quindi il peso di un volume d'acqua eguale a quello del solido, il cui peso rimane intanto sorretto dal filo, che lo collega coll'estremo sostegno. Nel resto si useranno le stesse norme poc' anzi indicate pel caso della bilancia idrostatica.

Ritenute le notazioni poste precedentemente, varrà ancora la equazione (61). La (62) invece si ridurrà a:

$$v' d'' = p' \left(1 - \frac{\alpha}{\pi} \right),$$

posto p' i pesi da collocarsi sull'altro guscio, per rimettere in bilico il flagello, quando il solido stia tutto sommerso nell'acqua di detta tazza. In questo caso la (62) così ridotta farà direttamente conoscere v' , e quindi la (61) darà p ; procedendo nel resto come si disse precedentemente.

§ 98. Il peso specifico di un solido di poco volume, e meglio di quei solidi che si ponno avere solo in frammenti od in piccoli cri-

stalli, siccome accade per molti minerali, può determinarsi col metodo della boccetta. È questa formata in vetro a collo piuttosto ampio e corto, in cui si adatta un tappo bucato, pure di vetro, a perfetta tenuta di liquido mercè un accurato lavoro a smeriglio, e munito di un sottile cannello, che inferiormente comunica col cavo della boccetta e porta superiormente un allargamento aperto a guisa di piccolo imbuto. Si dovrà anzitutto determinare con precisione la capacità di questa boccetta, compreso il vano del cannello; al quale scopo, empitala di acqua distillata, e postala in un bagno d'acqua a temperatura assai prossima a 4°, si asporterà con carta emporetica l'acqua che allora sopravvanzerà nell'imbuto superiore. Conoscendo il peso dell'acqua così contenuta ad una temperatura ben determinata, colle norme sovra-dette si avrà la misura della capienza della boccetta a qualsiasi temperatura, oye si conosca anche il coefficiente di dilatazione del vetro, ond' è costituita.



Fig. 53.

Ciò premesso, si determinerà, come ad-dietro, il peso apparente del solido nell'aria (varrà per questo una bilancia comune); poi, lasciato sullo stesso guscio il solido e sull'altro i pesi che lo equilibravano, si collochi altresì sul primo la boccetta empita d'acqua anche nel vano del cannello e per bene asciugata, ponendo sull'altro guscio altri pesi che diano ancora l'equilibrio. Di poi aperta la boccetta, introdotto in essa il solido, e chiusala di nuovo, sicchè rimanga ancor piena d'acqua fino all'estremo superiore del cannello, senza che siavi inchiusa niuna bolla d'aria, si aggiungeranno sul guscio stesso, ov' è la boccetta, altri pesi per riequilibrare la bilancia. Questi ultimi faranno conoscere approssimativamente il peso d'un volume d'acqua eguale a quello del solido.

Siano p' e p'' i pesi convenzionali corrispondenti al peso apparente nell'aria della boccetta piena d'acqua, oppure col volume d'acqua che in un col solido la riempie: le condizioni di equilibrio nelle tre successive pesate, ritenute le precedenti notazioni, saranno espresse dalle:

$$(63) \quad p - a v' = p \left(1 - \frac{a}{\pi} \right)$$

$$(64) \quad p_s + p_b + p_a - a v' - a v_b = \left(p + p' \right) \left(1 - \frac{a}{\pi} \right)$$

$$(65) \quad p_s + p_b + p'_a - a v_b = \left(p + p'' \right) \left(1 - \frac{a}{\pi} \right),$$

posti p_b , p_a e p'_a i pesi reali della boccetta, dell'acqua che la riempie da sola e dell'acqua che la riempie quando vi stia entro anche il solido, e v_b la capacità della boccetta alla temperatura t . I valori di p_b , v_b e p'_a ponno determinarsi con preventive sperienze, fatte coi metodi già esposti. Mercè poi il coefficiente α'' di dilatazione cubica del vetro, ed i valori di d'' dati dalla tavola a pag. 139, si potranno avere i valori di p_a e v_a per qualsiasi temperatura, una volta determinata la capacità v^0 alla temperatura 0° , mediante le:

$$v_b = v^0 (1 + \alpha'' t),$$

$$p_a = v^0 (1 + \alpha'' t) d''.$$

Dapprima, ritenuto $v' = \frac{p' - p''}{d''}$, e posto un tal valore nella (63), si trae p_s , che, posto nella (64), darà v' meglio approssimato, il quale poi potrà porsi, volendo, ancora nella (63).

Nelle precedenti tre equazioni si lasciarono esposti tutti gli elementi d'ogni prova sperimentale, senza riduzione o semplificazione, poichè, dall'una all'altra, la temperatura del liquido potendo variare sensibilmente, bisognerà in ogni atto assumere per v'_b , d'' e p_a i convenienti valori.

Il che rivela un'imperfezione di questo metodo a confronto dei precedenti. Oltre che in questo sono maggiori le fonti d'errore, perchè maggiore è il numero delle quantità da determinare, e perchè la bilancia, nella seconda e terza pesata, viene ad essere caricata dell'inutile peso della boccetta e dell'acqua contenutavi.

§ 99. L'areometro di Nicholson dispensa dall'impiego di ogni bilancia per la determinazione del volume e del peso specifico d'un solido.

È un galleggiante il quale, stando sommerso nell'acqua, con un costante volume permette di determinare la differenza nel peso apparente di un corpo, secondo che questo è nell'aria o nell'acqua. Con-

siste in un cilindro cavo di metallo, alle cui basi sono applicate le basi, d'egual raggio, di due coni retti; al vertice del cono superiore è unita una sottile ma rigida asticina, portante una capsula metallica, su la quale si possono porre de' pesi, e su l'asticina è segnata una lineetta, chiamata *punto d'affioramento*, che risponde al limite d'immersione dello strumento.

Il vertice del cono inferiore, per mezzo d'un uncino, porta una capsula tanto pesante che, stando l'areometro nell'acqua, il centro di gravità del galleggiante riesca inferiore al centro di pressione della parte sommersa del sistema stesso. E d'altra parte il volume dello stromento dev'essere tale che, ponendolo nell'acqua, senza carico su la capsula superiore, esso emerga con tal parte del cono superiore, il cui volume corrisponda almeno a venti o trenta centimetri cubici, poichè allora, per far *affiorare* lo strumento, cioè per farlo sommergere fino al punto d'affioramento segnato sull'asticina, si potrà collocare sulla capsula superiore un peso da venti a trenta grammi.

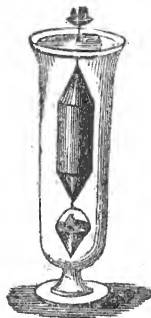


Fig. 54.

Perciò questo strumento potrà primamente servire a determinare il peso di un corpo, mediante la differenza tra il peso che si dovrà collocare sulla capsula, onde lo strumento affiori da solo, e quello che vi si dovrà porre perchè ciò accada quando sulla capsula stessa si ponga un corpo, il cui peso apparente dovrà però essere minore dell'anzidetto. Allora poi, immergendo codesto corpo nell'acqua e pesandolo sulla capsula inferiore, si potrà determinare il suo peso apparente nell'acqua, caricando la capsula superiore di tal altro peso, che faccia di nuovo affiorare lo strumento, mercè la differenza tra quest'ultimo peso e quello che si era posto sulla capsula in secondo luogo, quando cioè il solido stava fuori nell'aria; e così s'avrà anche la misura del peso specifico del corpo stesso.

Sieno P il peso reale dell'areometro, il cui volume a 0° sia v ed alla temperatura t sia v' ; p i pesi da porsi sulla capsula perchè lo strumento affiori da solo; p' i pesi da aggiungersi al peso p del solido posto sulla stessa capsula, onde avere l'affioramento, e p'' i pesi da porvisi quando il solido messo sulla capsula inferiore, è immerso nell'acqua: si avranno, successivamente nelle tre prove, ad esprimere la condizione d'equilibrio del galleggiante, le equazioni:

$$(66) \quad p + P = v' d'' + p \frac{a}{\pi},$$

$$(67) \quad p' + P + \frac{p}{s} = \frac{v'}{a} d'' + p' \frac{a}{\pi} + a v', \text{ e}$$

$$(68) \quad p'' + P + \frac{p}{s} = \frac{v'}{a} d'' + p'' \frac{a}{\pi} + v' d''.$$

Il peso reale P ed il volume a 0° $\frac{v}{a}$ dello strumento potranno essere preventivamente determinati col metodo della bilancia idrostatica, tantochè poi si potranno assumere per tutte le successive applicazioni, essendo:

$$\frac{v'}{a} = 1 + \frac{v_a}{a''' t},$$

ritenuto a''' il coefficiente di dilatazione cubica del metallo o del vetro onde è costituito l'areometro e t la temperatura dell'acqua in cui esso è immerso.

Allora si potranno usare le tre precedenti equazioni, onde avere valori successivamente più approssimati di v' e di p ; osservando che, per una prima approssimazione, si potrà assumere:

$$v' = \frac{p'' - p'}{d''},$$

e che le (66) e (67) sono collegate dalla:

$$\left(p - p' \right) \left(1 - \frac{a}{\pi} \right) = \frac{p}{s} - a v'.$$

Sebbene codesto areometro abbia una forma più semplice e comoda d'una bilancia, le preindicate determinazioni non possono aversi con quel grado di approssimazione di che è suscettibile il metodo della bilancia idrostatica. La difficoltà di togliere alcune bollicine gassose che aderiscono alla superficie bagnata dello strumento e del solido quand'è sommerso, massime se la temperatura del liquido è in via d'aumento, e più ancora la difficoltà di determinare con approssimazione la media temperatura dell'acqua nell'insieme degli strati nei quali si protende la parte sommersa dell'areometro, nell'atto stesso in cui si applicano gli ultimi pesi che riducono l'areometro all'affioramento, rendono assai incerto il complessivo risultato.

E perchè poi lo strumento riesca sensibile, conviene che il cono superiore abbia al vertice un angolo piuttosto acuto, e più ancora importa che sia sottile l'asticina, su cui è segnato il punto di affioramento, nel mentre dev'essere abbastanza rigida da reggere ai pesi che si collocano sulla capsula superiore. Conviene soprattutto badare che il punto d'affioramento riesca a livello del liquido esterno, giacchè

per capillarità può formarsi intorno ad esso od una superficie rilevata od una superficie concava, secondochè lo strumento tende ad alzarsi od a deprimersi. Pertanto questo metodo, benchè comodo, non può raggiungere la precisione de' metodi esposti in precedenza.

§ 100. Analoghi sono i metodi che si usano nel determinare il peso specifico de' liquidi, cioè la bilancia idrostatica, la bilancia comune, la boccetta e l'areometro a volume costante.

Usando la bilancia idrostatica, vuolsi un palloncino di vetro, del volume di almeno cento centimetri cubi, caricato nell'interno con pallini di piombo o con mercurio, per modo che il peso di esso sia superiore a quello di un egual volume di acqua. È sostenuto da un sottil filo di platino, che porta segnato un punto di affioramento, e che lo collega all'uncino di un guscio della bilancia. Innanzi tutto si dovrà determinare con molta cura e coi metodi suesposti, il peso reale ed il volume del palloncino (compreso quello del filo di sospensione fino al punto d'affioramento), ad una determinata temperatura, onde poterne calcolare il volume a qualsiasi altra temperatura, in funzione del suo coefficiente di dilatazione. (Si noti che il platino ha prossimamente lo stesso coefficiente di dilatazione del vetro). Pel vetro comune si può ritenere, senza notevole errore, esser questo coefficiente 0,000026.



Fig. 55.

Ora conoscendosi il peso reale del pallone ed il volume di esso a 0°, se ne potrà argomentare il peso apparente, tanto nell'aria a temperatura e pressione determinate, quanto nell'acqua a data temperatura, mercè le tabelle a pag. 98 e 99. Determinando poi il peso apparente del pallone stesso entro un altro liquido, si potrà dedurne il peso specifico, cioè il rapporto tra il peso di un dato volume di esso e il peso di un egual volume di acqua a quattro gradi.

Nelle tre successive pesate le condizioni d'equilibrio saranno espresse rispettivamente dalle:

$$(69) \quad p - a \frac{v'}{p} = p \left(1 - \frac{a}{\pi} \right),$$

$$(70) \quad p + p' \left(1 - \frac{a}{\pi} \right) - \frac{v'}{p} d'' = p \left(1 - \frac{a}{\pi} \right),$$

$$(71) \quad p + p'' \left(1 - \frac{a}{\pi} \right) - \frac{v'}{p} d''' = p \left(1 - \frac{a}{\pi} \right),$$

dove p_p sia il peso reale del pallone, v'_p il suo volume alla temperatura t , p i pesi posti sull'altro guscio per equilibrare il suo peso apparente nell'aria, p' e p'' i pesi da porsi sul guscio da cui pende il pallone, quando esso è rispettivamente immerso sino al punto di affioramento nell'acqua avente la densità d''' o nel liquido la cui

densità sia d'' . Assumendo dapprima $v'_p = \frac{p'}{d''}$ come valore approssimato e postolo nella (69), se ne caverà un valore approssimato di p_p , il quale poi, posto nella (70), darà un più approssimato valore di v'_p , che posto nuovamente nella (69) darà p_p con maggiore approssimazione. E mercé la:

$$(72) \quad v'_p = v_p (1 + \alpha'' t)$$

s'avrà il volume v_p del pallone a 0° , posto α'' il coefficiente di dilatazione cubica del vetro. In seguito giovandosi delle (70) e (71), si potrà determinare con approssimazione d''' , cioè la densità relativa del liquido alla temperatura t ; dalla quale s'avrà poi questa densità a 0° , ove sia dato il coefficiente di dilatazione del liquido stesso.

Quando si voglia usare la bilancia comune, si sospenderà codesto palloncino ad un esterno sostegno, mentre l'acqua od il liquido si porranno entro tazza, posata su un guscio di essa, ed equilibrata da opportuno peso sull'altro guscio. È però facile vedere che in questo caso la bilancia deve reggere al peso della tazza e di un volume del liquido maggiore che nel caso precedente, e che vuolsi anche curare la diminuzione di peso provata dal liquido durante le successive pesate per la propria evaporazione.

§ 101. Il metodo della boccetta, che per i solidi è meno opportuno di quello della bilancia idrostatica, per i liquidi riesce invece appropriato. Convien però che la boccetta abbia la capacità di almeno cento centimetri cubi, e si chiuda con un disco a smeriglio avente un foro centrale, o meglio abbia un collo capillare, il quale si apra poi in un tubo più capace, che può essere chiuso con un tappo a smeriglio, diligentemente lavorato. Si dovrà anzitutto determinare la capacità del palloncino alla temperatura 0° fino al punto in cui il cannello sbocca nell'apertura superiore, e determinare altresì il volume corrispondente alla sua esterna superficie, quand'è chiuso dal tappo, mediante la determinazione del peso specifico medio di esso. In funzione poi del coefficiente di dilatazione del vetro si avranno i valori della detta capacità e del detto volume a qualsiasi temperatura: cosicchè si potrà direttamente determinare col peso del liquido, che riempie codesta capacità, tanto il peso specifico del liquido stesso, quanto ancora il suo coefficiente di dilatazione, se si

conosceranno i pesi di riempimento con un tal liquido sotto due diverse temperature.

Il pregio della boccetta a collo suddescritta sta nel potersi apprezzare con sicurezza la temperatura del liquido in essa introdotto, e nel poterne anche limitare il volume con precisione. Poichè si immerge il palloncino entro un bagno di ghiaccio o di acqua a tempe-

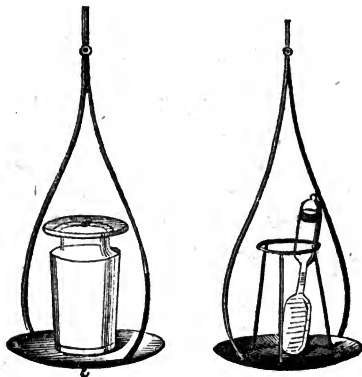


Fig. 56.

ratura ben determinata (a) e ve lo si lascia tanto che il liquido contenuto abbia assunto questa temperatura; il che si riconosce anche dalle variazioni di volume apparente del liquido stesso nel cannello del pallone, se si avrà cura di cavar fuori dal tubo superiore, per mezzo di carta bibula, il liquido che eccede il fissato limite di volume. Quando adunque questo volume del liquido più non muti, e quando insieme esso risponda col suo limite all'estremo superiore del cannello, s'avrà la certezza della temperatura di esso: e chiusa poi l'apertura superiore col tappo, si avrà modo di determinare il peso del liquido contenuto, collocando il palloncino, asciugato per bene al di fuori, sul guscio della bilancia, senza più curarsi delle ulteriori sue variazioni di temperatura.

(a) Per ridurre meno variabile la temperatura del bagno d'acqua, conviene che questa abbia una massa ragguardevole e sia contenuta entro una capace tazza metallica, racchiusa questa in un'altra di maggior diametro e di maggiore altezza, cosicchè tra le due pareti di esse rimanga un vano contenente aria, i cui moti di convezione siano rallentati da soffice cotone, col quale si chiude superiormente codesto spazio anulare.

Introducendo poi nella stessa boccetta ed in analogo modo un altro liquido a temperatura diversa, e pesando similmente, si avrà modo di calcolare il valore della densità relativa di esso.

Le condizioni d'equilibrio per le due pesate sono espresse dalle

$$(73) \quad p_b + p'_t - a v'_b = p \left(1 - \frac{1}{\pi} \right)$$

$$(74) \quad p_b + p'_t - a v'_b = p' \left(1 - \frac{a}{\pi} \right)$$

posti p_b e p'_t rispettivamente i pesi reali della boccetta da sola, dell'acqua e del liquido, che in essa stanno alla temperatura t ; p e p' i pesi applicati sul guscio per equilibrare la boccetta nelle due prove, e v'_b il volume della boccetta alla stessa temperatura t . Qualora si sia preventivamente determinato il peso reale p_b della boccetta ed il suo volume esterno v_b a 0° , s'avrà v'_b dalla:

$$v'_b = v_b (1 + a'' t),$$

ritenuto a'' il coefficiente di dilatazione cubica del vetro, e quindi le (73) e (74) fornirebbero il valore della densità relativa del liquido mercè il rapporto di p'_t a p_b .

§ 102. Anche il metodo dell'areometro a volume costante, che per la misura della densità relativa dei solidi si è trovato poco rigoroso, può essere condotto a molta precisione, trattandosi di determinare il peso specifico od il coefficiente di dilatazione dei liquidi.



Fig. 57.

Un pallone di vetro, del volume di oltre duecento centimetri cubi, zavorrato nell'interno con mercurio, tantochè il peso totale di esso sia di poco inferiore a quello di un egual volume d'acqua, è munito d'un collo piuttosto corto e stretto, chiuso da un tappo a mastice, il quale porta una cassula per mezzo di asticina metallica sottile e rigida, sulla quale sta segnato il punto d'affioramento.

Anche qui converrà anzitutto determinare con cura il peso reale del pallone ed il suo volume a 0° al disotto del punto di affiora-

mento, mediante il peso apparente di esso nell'aria e nell'acqua a nota temperatura. Mercè poi il coefficiente di dilatazione del vetro si avrà il volume del pallone stesso a qualsiasi temperatura. Allora, determinando i pesi da porsi sulla sua capsula superiore per farlo affiorare successivamente nell'acqua od in un altro liquido, oppure in uno stesso liquido a diverse temperature, si avrà modo di risolvere i detti problemi.

Per determinare il peso reale dell'areometro p_a , il cui volume a t sia v'_a , e per trovare insieme questo volume, varranno le equazioni:

$$(75) \quad p_a - a v'_a = p \left(1 - \frac{a}{\pi} \right)$$

$$(76) \quad p_a + p' \left(1 - \frac{a}{\pi} \right) = d'' v'_a$$

dove p siano i pesi che equilibrano su la bilancia l'areometro da solo, e p' i pesi da porre su la capsula di esso per tenerlo sommerso sino al punto d'affioramento entro l'acqua la cui densità a t sia d'' . Per una prima approssimazione si potrà assumere:

$$v_a = \frac{p - p'}{d''}$$

Siano poi p'' i pesi voluti a far affiorare l'areometro in altro liquido la cui densità sia d''' a t , oppure nel medesimo liquido la cui densità diventi d''' ad altra temperatura t' ; si avrà:

$$(77) \quad p_a + p'' \left(1 - \frac{a}{\pi} \right) = d''' v_a$$

la quale, combinata colle precedenti, col metodo delle successive sostituzioni, potrà dare con molta approssimazione il valore della densità relativa del liquido proposto, ovvero la variazione di densità del liquido stesso passando dalla temperatura t alla t' .

Queste successive determinazioni ponno adunque farsi senza altro uso di bilancia: e qui la estesa superficie del pallone a contatto del liquido non è nociva come nell'areometro di Nicholson, essendo anzi tanto maggiore la approssimazione ottenibile dalle predette determinazioni quanto maggiore sarà il volume del pallone e più sottile l'asticina sostenente la capsula.

§ 103. Per conoscere, ma solo in forma approssimata, il vario grado di densità relativa dei liquidi, o piuttosto il vario grado di concen-

trazione delle soluzioni saline ed acide, riescono molto comodi gli areometri a peso costante, il cui punto d'affioramento è variabile. Sono molto in uso gli areometri di Baumé e di Cartier, i quali vennero semplificati dal Bellani, raccogliendo in uno l'areometro pei liquidi più densi e pei meno densi dell'acqua.

È una canna cilindrica di vetro, chiusa agli estremi, contenente del mercurio per zavorra e portante una scala. Ove trattisi dei liquidi meno densi dell'acqua, le divisioni della scala si ottengono segnando i punti d'affioramento della canna prima nell'acqua (posta nella quale essa deve emergere per un buon tratto della sua lunghezza), poi in una soluzione fatta con 10 parti in peso di sal comune (cloruro di sodio) su 90 parti di acqua. La distanza fra questi due punti viene ripartita in 10 parti tra loro eguali, ciascuna delle quali risponde ad un grado dello strumento, segnandosi 10 al primo e 0 al secondo dei detti punti di affioramento, e si continuano poi le stesse divisioni al disopra di quest'ultimo, con numeri crescenti dal basso all'insù. È chiaro che un liquido sarà tanto meno denso quanto più s'affonderà in esso l'areometro, cioè quanto maggiore sarà il grado da esso indicato al punto d'affioramento, e che però i decrementi nella densità non saranno direttamente proporzionali all'aumento nel numero dei gradi per ottenere l'affioramento, ma seguiranno una ragione meno rapida.

Per i liquidi più densi dell'acqua s'aggiunge all'estremo inferiore della canna un globicino, pure contenente del mercurio, di tal peso che, posto così nell'acqua lo strumento, questo si sommerga quasi interamente, senza però affondarsi.

Una seconda scala è allora segnata sulla canna, determinandone i punti d'affioramento nell'acqua pura ed in una soluzione fatta con 15 parti di sale ed 85 di acqua; si divide la distanza tra questi due punti

in 15 parti tra loro eguali, segnando 0 al primo e 15 al secondo, e

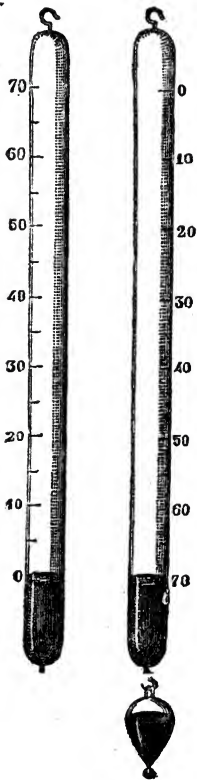


Fig. 58.

si continuano al disotto le stesse divisioni con numeri crescenti dall'alto al basso. E qui è evidente che, quanto meno s'affonderà lo strumento in una data soluzione, cioè quanto più alto sarà il grado del punto d'affioramento, tanto maggiore sarà la densità relativa di essa: però ancora le densità non cresceranno proporzionalmente ai gradi, ma bensì con una ragione più rapida.

Sonvi anche areometri speciali per taluni liquidi. Tra questi è celebre l'alcolometro di Gay-Lussac, il quale, data essendo una diluzione d'alcole, serve ad indicare con molta approssimazione la quantità in volume di alcole puro contenutovi. Esso è graduato empiricamente, segnandovi successivamente i punti d'affioramento nell'alcole puro (ove si nota 100), in una misturà di 95 parti in volume di alcole con 5 d'acqua, in altra di 90 d'alcole e 10 d'acqua, in altra di 85 d'alcole e 15 d'acqua, e così via; i quali punti sono rispettivamente segnati 95, 90, 85, ecc. Le distanze tra due consecutivi punti non sono uguali tra loro, ma vanno gradatamente diminuendo dall'alto al basso: però la differenza tra due successivi intervalli essendo piccola, non si commette grave errore ripartendo ciascuno di tali intervalli in 5 parti tra loro eguali, e ritenendo anche queste divisioni proporzionali alla quantità in volume dell'alcole contenuto nelle miscele che daranno siffatti intermedj per l'affioramento. La predetta graduazione si ritiene fatta a 15°: qualora la temperatura della miscela sia non poco diversa da questa, le indicazioni dello strumento dovranno subire una correzione, poichè con essa varia sensibilmente la densità del liquido.

§ 104. Crediamo altresì opportuno di aggiungere uno specchio dei pesi specifici di alcuni corpi che tornano di maggiore uso nella fisica.

PESO SPECIFICO DEI CORPI A 0°, RIFERITO A QUELLO DELL'ACQUA PURA A 4°.

Corpi indecomposti.

Osmio (a)	21,35	Oro	19,26
Platino	21,15	Tungsteno	17,40
Iridio	21,15	Mercurio (b)	13,596

(a) Le densità qui esposte dei metalli riguardano lo stato molecolare che essi prendono dietro una semplice fusione. I diversi lavori che essi ponno subire ne modificano di molto la densità. I dati qui esposti si trassero tra i meglio attendibili; tuttavia per non pochi metalli sonvi ancora alcune incertezze, attese le difficoltà di averli in istato di purezza, e regolarmente solidificati dietro la fusione.

(b) Regnault, per medio di tre serie di sperienze, ottenne la densità a 0° del mercurio 19,5959.

Piombo	11,36	Arsenico	5,77
Palladio	11,30	Titanio	5,30
Rutenio	11,30	Cromo	5,10
Rodio	11,00	Jodio	4,95
Argento	10,47	Selenio	4,30
Bismuto	9,82	Bromo	3,19
Uranio	9,00	Boro	2,68
Rame	8,90	Alluminio	2,56
Cadmio	8,63	Strontio	2,54
Molibdeno	8,61	Silicio	2,49
Cobalto	8,50	Glucio	2,10
Niccolo	8,28	Solfo	2,03
Manganese	8,01	Magnesio	1,87
Ferro	7,75	Fosforo	1,83
Stagno	7,29	Calcio	1,58
Zinco	6,86	Sodio	0,97
Antimonio	6,71	Potassio	0,86
Telluro	6,11	Litio	0,59

Corpi diversi.

Ottone	8,40	Vetro comune	2,45
Acciaio	7,83	Tormalina nera	3,10
Ghisa	7,21	Aragonite	2,93
Carbonato piombico	6,73	Spatto islandico	2,72
Ferro magnetico	5,40	Quarzo	2,65
Pirite di ferro	5,00	Cloruro di sodio	2,08
Solfato baritico	4,67	Avorio	1,92
Diamante	3,53	Legni diversi (a)	1,51
Cristallo con piombo	3,30	Ambra	1,08

Liquidi.

Acido solforico	1,850	Glicerina	1,280
Acido nitrico monoid.	1,522	Acido cloridrico	1,211
Solfuro di carbonio	1,293	Latte di vacca	1,030

(a) Violette trovò che i legni di qualsiasi essenza, ridotti in sottile limatura e vuotati d'aria, col lasciarli a lungo sotto una campana pneumatica, offrono uno stesso peso specifico, qual è sovra indicato.

Anche i carboni ottenuti da qualsivoglia qualità di legno, ridotti in polvere e privati d'aria, presentano un egual peso specifico, quando però sieno stati preparati ad una stessa temperatura di carbonizzazione.

Acqua di mare	1,027	Nafta	0,847
Olio di ricino	0,970	Alcole amilico	0,827
id. ulive	0,916	id. metilico	0,821
Vino di Champagne	0,962	id. etilico	0,815
Essenza di terebinto	0,870	Etere acetico	0,870
id. di menta	0,851	id. etilico	0,736
id. di cedro	0,847		

CAPO V.

AEROSTATICA

Proprietà de' fluidi aeriformi.

§ 105. I corpi aeriformi, chiamati anche *gas* (*a*), offrono, al pari dei liquidi non viscosi, ed anzi ben meglio di questi, una perfetta fluidità (§ 7), in quanto non oppongono alcuna sensibile resistenza allo scorrere o scivolare delle loro molecole le une su le altre. L'esperienza di Galileo, accennata al proposito della fluidità dei liquidi (p. 52), è applicabile a maggior ragione ai fluidi aeriformi. Così un solido, anche molto voluminoso, a muoversi in seno dell'aria, non incontra da questa alcun'altra resistenza fuor quella dipendente da inerzia, cioè dalla trasmissione di movimento, che esso deve fare alle molecole d'aria, per sospingerle innanzi o di fianco a sè, e che però avrà relazione colla velocità del solido. Pertanto, e perchè fluidi e perchè elastici, i corpi aeriformi soddisferanno ai principi retro esposti pei fluidi liquidi.

Ogni molecola d'un gas, supposta in quiete relativa, dovrà premere ed essere premuta dalle molecole, che la circondano, con eguale intensità ed in tutte le direzioni. E qualsiasi pressione esterna applicata ad un punto d'una massa aeriforme in equilibrio, contenuta in un recipiente, dovrà trasmettersi a tutti i punti della massa con eguale energia e provocare fra essi un'equivalente reazione (tensione), affinchè la massa stessa possa considerarsi ricomposta in equilibrio; epperò anche tutti i punti della parete dovranno subire ed esercitare un egual grado di pressione. Insomma, *anche pei fluidi aeriformi verificasi il principio di Pascal* (§ 77).

Inoltre i fluidi aeriformi, essendo dotati di gravità, come qualsiasi corpo terrestre, esercitano di continuo, con ogni loro molecola, una pressione verticale corrispondente al loro peso assoluto, ossia al

(a) Probabilmente dalla voce tedesca *geist*, che significa spirito.

prodotto della loro massa per l'accelerazione di gravità (§ 57), dovendo essere $m = \frac{p}{g}$. E perciò, come in un liquido, in una massa ae-

riforme contenuta in un recipiente si esercitano pressioni reciproche dipendenti dalle azioni molecolari, ed altre dipendenti dalla gravità. Quindi, *affinchè le pareti di una massa gasosa riescano in istato di reciproco equilibrio, dovranno riescire eguali le risultanti delle tensioni di elasticità e delle pressioni di gravità, esercitantesi tra le molecole appartenenti ad uno stesso strato orizzontale*: inoltre, *procedendo dall'alto al basso, le pressioni di gravità e le tensioni molecolari devono andar crescendo da uno ad altro strato successivo ed orizzontale, proporzionatamente al peso assoluto delle molecole dello strato precedente* (§ 58).

Infine anche ai fluidi aeriformi è applicabile il principio d'Archimede, cioè, ogni corpo terrestre, stando immerso nell'aria atmosferica, risente da questa alla sua superficie una somma di pressioni ad essa normali, la cui risultante è diretta verticalmente di basso all'insù ed equivalente al peso assoluto di un volume del fluido aeriforme involgente, eguale al volume apparente del corpo stesso (§ 66).

Quindi il peso apparente di questo corpo è minore del suo peso reale (§ 69) di una quantità corrispondente alla detta risultante, ossia al peso del detto volume d'aria; e d'altronde codesta differenza è tanto maggiore quanto più grande sarà la densità dell'aria; cioè, in generale, *la differenza tra il peso apparente ed il peso reale di un corpo è data dal prodotto del volume del corpo per il peso dell'unità di volume dell'aria involgente*, come s'è già ritenuto trattandosi dei pesi specifici dei corpi.

Peso dell'aria.

§ 106. *Che l'aria sia pesante* fu dimostrato da Galileo con un ingegnoso sperimento (a). Ma da che Ottone Guericke inventò la macchina

(a) Prese egli un fiasco a collo stretto, munito di un ditale di cuojo, con animella apribile dall'esterno all'interno, e lo pesò, essendo l'aria rinchiusa egualmente densa dell'esterna; indi, con una siringa, v' iniettò quanto più potè di acqua, senza lasciarne sfuggire l'aria: lo pesò di nuovo, onde avere il peso dell'acqua iniettata, e di poi, aprendo l'animella e tenendola per alcun tempo aperta, concesse sfogo all'aria dianzi condensata entro il pallone per l'introduzione dell'acqua, sinchè la residua riprendesse la densità dell'aria esterna, e pesando poi ancora il fiasco, trovò un peso sensibilmente minore che nella seconda pesata. Anzi la differenza fra questa terza pesata e la precedente offre il peso del volume d'aria uscita fuori, il qual volume deve eguagliar quello

pneumatica (a), la prova sperimentale del peso dell'aria poté rifarsi con maggiore semplicità e speditezza. Abbiassi un pallone di vetro d'una capacità non minore d'un litro, munito d'una tubulatura metallica



Fig. 59.

con chiave. Lasciata questa aperta per alcun tempo sicchè l'aria interna si equilibri coll'esterna, pongasi il pallone sul guscio d'una bilancia squisita, o lo si sospenda ad un estremo del flagello, e se ne equilibri il peso con pallini di piombo posti sull'altro guscio. Indi, col giuoco della macchina pneumatica, si cavi da esso quanto più si potrà di aria, e si serri tosto la chiave. Ponendolo ancora su la bilancia, come dianzi, il flagello traboccherà dall'altra banda, cosicchè, a rimetter questo in bilico, converrà porre sul guscio che porta il pallone alcuni pesi, i quali misureranno il peso dell'aria estratta. Però, lasciate così le cose, se si aprirà dolcemente la chiave, si udrà il sibilare dell'aria che rientra, e si vedrà il flagello traboccare man mano dalla banda del pallone; però togliendo i pesi posti su quel guscio, in breve il flagello si rimetterà in equilibrio, come nel primo stato di cose, poichè l'aria interna avendo riacquisitato la densità primitiva, anche il peso apparente del pallone

ritornerà al primo valore.

Pressione atmosferica.

§ 107. *E che infine l'aria atmosferica, perchè grave ed elastica, eserciti una pressione su la superficie di tutti i corpi da essa toccati,* lo si deduce da molte e svariate osservazioni abbastanza conosciute.

Per noi basterà richiamare la celebre esperienza di Ottone Guerike, eseguita da lui a Magdeburgo. Prese egli due emisferi cavi di me-

dell'acqua iniettata; poichè in queste diverse pesate, stando costante il volume del fiasco e la densità dell'aria esterna, rimane pur costante la differenza fra il peso apparente ed il reale del fiasco. E così poté anco determinare, in via d'approssimazione almeno, il rapporto fra i pesi di eguali volumi di aria e di acqua. Gli Accademici del Cimento giunsero di poi ad un analogo risultato, pesando un pallone di piombo or nell'aria ed or nell'acqua sommerso, prima gonfio e poscia ridotto a minimo volume collo schiacciarlo.

(a) Qui ci occorre impiegare codesta macchina, innanzi di esporne la teoria, che daremo più innanzi. Basti, per ora, il dire che col di lei mezzo possiamo estrarre da un dato recipiente successive quantità di un gas contenutovi, cosicchè il gas residuo si renda man mano più rado, ossia meno denso.

tallo, i cui labbri lavorati a dovere, combaciavano così da non lasciar permeare l'aria dall'esterno all'interno. Uno di essi portava una tubulatura con chiave, per mezzo della quale egli poté estrarre, in opera della macchina da lui inventata, gran parte dell'aria contenuta nel cavo degli emisferi: allora questi aderivano coi loro labbri così fortemente che non poterono essere separati dagli sforzi combinati in opposta direzione di otto coppie di cavalli. Ma, avendo di poi aperta la chiave della detta tubulatura, e lasciata così entrare l'aria nella cavità degli emisferi, questi si staccarono l'un dall'altro con lievissimo sforzo, come dapprincipio. Pertanto codesta aderenza degli emisferi, quando l'aria è in essi diradata, dipende dall'eccesso della pressione esercitata dall'aria atmosferica su la esterna loro superficie rispetto a quella che, in senso contrario, si esercita dall'aria in essi residua per la propria tensione, e quindi sarà tanto maggiore, quanto maggiore sarà il raggio loro della esterna superficie.



Fig. 60.

E da ciò emerge altresì che codesta pressione si esercita in tutte direzioni, epperò anche normalmente ai singoli punti della superficie sferica, con eguale intensità.

Ma la più elegante prova della pressione atmosferica, ed insieme la più precisa misura della di lei grandezza, è data dalla celebre esperienza immaginata da Evangelista Torricelli (a), discepolo di Galileo, nel 1643. Una canna cilindrica di vetro, chiusa ad un capo, aperta all'altro; lunga poco meno di un metro, e ben secca per entro, è tenuta coll'asse verticale e col capo chiuso in basso; la si empie al tutto di mercurio ben pulito, indi se ne tura l'estremo aperto coll'applicarvi il polpastrello d'un dito od un appropriato tappo di gomma, e cautamente la si inclina, sino a che l'estremo così turato resti sommerso in altro mercurio, versato in larga vaschetta; indi, tenendone l'asse al più possibile inclinato all'orizzonte, si leva l'artificiale otturatore, sì che il mercurio esterno liberamente comu-

(a) Diciamo soltanto che Torricelli immaginò quest'esperienza, poichè egli la pensò e razionalmente ne prevede il risultato; mentr'essa fu eseguita, dietro suo suggerimento, dal Viviani, altro discepolo di Galileo. Devesi pur avvertire che G. B. Baliani aveva già prima ideato che il salir dell'acqua nelle trombe aspiranti fosse dovuto alla pressione atmosferica.

nichi coll' interno, senza che rimanga frammezzo alcuna bolla d'aria. Allora si raddrizza verticalmente la canna, col capo chiuso all'insù, e si osserva che il mercurio non discende per l' interno del tubo sino



Fig. 61.

al livello del mercurio esterno, siccome far dovrebbe, in opera di sola gravità, un liquido omogeneo posto in due vasi che tra loro comunicano inferiormente (§ 62). Invece esso si tiene notevolmente più alto nel l' interno della canna, di tal misura che ha rapporto-colla varia grandezza della pressione atmosferica, secondo le condizioni della località, dello stato atmosferico e della temperatura. Però, supponendo estesa la superficie di livello della vaschetta attraverso la canna ed il mercurio contenuto, il corrispondente velo di questo liquido sarà, da una parte, in equilibrio di pressione col mercurio esterno, per quanto dipende dalla gravità giusta l'anzidetto principio (§ 82); e d'altra parte la pressione di gravità della colonna di mercurio sovra incumbente al detto velo dimostra e misura la pressione che l'aria atmosferica dispiega sulla superficie esterna del liquido e normalmente ad esso, per la propria tensione e gravità.

Perciò, riferendosi al principio (§ 59) d'idrostatica, si potrà assegnare la grandezza di quest'ultima pressione. Pongasi che l'altezza della colonna di mercurio sia di centim. b , la pressione atmosferica P avrà per misura, su ogni centimetro quadrato di superficie, il peso assoluto della colonna stessa, espresso da:

$$P = b p,$$

posto p il peso assoluto di un centimetro cubo di mercurio.

Ove b sia met. 0,76, come all'incirca riesce, per medio dell'anno, in luoghi posti a livello del mare, e la temperatura 0° essendo $p = 13^{\text{sr.}}, 596$ (pag. 153), s'avrebbe:

$$P = \text{gr. } 1033,3.$$

Ove poi in luogo del mercurio si adoperasse acqua, od altro liquido, siccome fece Pascal (1646) con una canna molto lunga, per equilibrare la pressione atmosferica si richiederà che il liquido stesso si tenga nella canna, del resto vuota, ad un'altezza b' tale che sia (§ 83):

(78)

$$b' p' = b p$$

posto p^1 il peso assoluto di un centimetro cubo di [tal liquido. Ora, per l'acqua a 4^0 , essendo $p^1 = 1gr$, s'avrà :

$$b = \text{met. } 10,333.$$

Pertanto, nelle ripetute condizioni, la grandezza della pressione dell'aria atmosferica corrisponde a quella esercitata alla propria base da una colonna di mercurio a 0^0 , alta met. 0,760, oppure da una colonna d'acqua a 4^0 , alta met. 10,333. È questo particolare valore della pressione atmosferica, che fu chiamato, convenzionalmente, *pressione normale* dell'atmosfera, od anco *pressione di una atmosfera*, in quanto la si prende quale unità di misura per la grandezza relativa delle forti pressioni dei gas o dei vapori (a).

Il predetto filosofo francese, Biagio Pascal, previde e verificò un'altra deduzione dei principi d'idrostatica. Poichè in un liquido, per la propria comprimibilità e pel proprio peso, cresce la pressione colla profondità rispetto alla superficie libera (§ 79), e poichè i fluidi aeriformi sono molto più comprimibili dei liquidi (§ 79), come meglio ora si vedrà, si avrà un sensibile decremento nella pressione atmosferica col levarsi mano mano in alto, rispetto al livello dei mari, sebbene il peso specifico dell'aria sia di gran tratto minore di quello dei liquidi in generale. Egli osservò che, recando la canna torricelliana

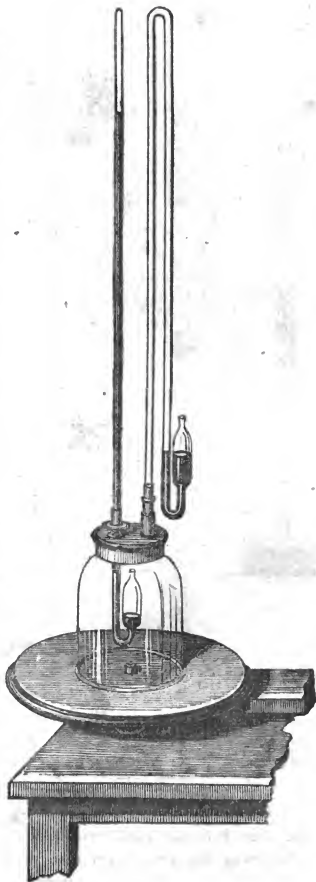


Fig. 62.

(a) Però la pressione atmosferica media annua, nelle stazioni marittime d'Italia, è circa 761,5 per media.

su di un monte elevato, l'altezza della colonna interna andava scemando, grado grado ch'ei saliva più alto.

La seguente esperienza mette in chiara evidenza la grande variabilità di volume e di tensione dell'aria. Il coperchio metallico d'una campana ha due tubulature (fig. 62): per l'una passa un tubo torricelliano a sifone, la cui vaschetta sta nella campana; per l'altra un tubo doppiamente ripiegato all'esterno, che termina in una vaschetta conforme alla precedente e che fa da manometro, poichè parte della vaschetta e del ramo ricurvo contengono mercurio. Ora supponendo che l'aria inchiusa nella campana abbia la stessa tensione dell'esterna, nel manometro il mercurio si terrà allo stesso livello ne' due rami, e nella canna torricelliana la differenza di livello del mercurio ne' suoi due rami, corrisponderà all'altezza barometrica ivi determinata. Ma tosto che si rarefarà l'aria nella campana, si vedrà contemporaneamente abbassarsi il mercurio nella canna barometrica per la diminuita tensione dell'aria interna, ed elevarsi invece il mercurio nella canna manometrica sospintovi dalla prevalente pressione dell'aria esterna. E così di seguito, proporzionatamente all'operata rarefazione. Se fosse possibile fare un vuoto perfetto, si scambierebbero le parti rispetto al principiare dell'esperienza; cioè nella canna barometrica il mercurio scenderebbe a livello con quello della vaschetta, e nella canna manometrica si leverebbe quanto era dianzi elevato sul livello della vaschetta il mercurio nella canna barometrica.

Ecco, ad esempio, le medie altezze annuali della colonna torricelliana, in corrispondenza ad alcune altitudini sul livello del mare, supponendo che l'atmosfera abbia in tutta la sua altezza la temperatura 0°.

Altezza della colonna torric.	Altitudine sul livello del mare	Altezza della colonna torric.	Altitudine sul livello del mare
mill. 760	met. 0,0	mill. 700	met. 653,2
» 750	» 105,3	» 690	» 767,5
» 740	» 211,9	» 680	» 883,4
» 730	» 320,0	» 670	» 1101,0
» 720	» 429,6	» 660	» 1120,5
» 710	» 540,6	» 650	» 1364,8

§ 108. Il suesposto dato sul valore della pressione normale può servire a determinare, con approssimazione, il valore della totale pressione P' che l'atmosfera eserciterebbe su tutta la superficie del globo terracqueo: supposto questo terminato da una superficie orizzontale corrispondente al prolungamento della superficie dell'oceano e de' mari, sarà in chilogrammi:

$$P' = 10333 \times 4\pi r^2,$$

essendo chilogr. 10333 la pressione normale su un metro quadrato, e posto r il raggio medio della superficie terrestre, espresso in metri (§ 66). Ora ritenuto r = metri 6366753, s'avrà la superficie totale della terra:

$$4 \pi r^2 = 507 \text{ bilioni di metri quadrati } (a);$$

epperò:

$$P' = 5 \text{ triloni e } 240 \text{ mila bilioni di chilogrammi.}$$

Analogamente si può valutare la pressione su la superficie esterna del corpo di una persona di mezzana corporatura. Supposta questa di 1, 25 m. q., s'avrà:

$$10333 \times 1,25 = \text{chil. } 12916,$$

la quale però da noi non è avvertita, e per cagione d'abitudine, e più perchè è di continuo equilibrata dalla pressione corrispondente alla tensione dei gas contenuti nell'interno dell'organismo. Il corpo umano, è per questo riguardo, nelle stesse condizioni d'una vescica avvizzita, premuta egualmente e in tutte le direzioni dall'aria interna ed esterna. Anche, elevandosi lentamente nell'atmosfera, la interna pressione si equilibra tosto colla pressione esterna, benchè variabile, mercè la continua respirazione. Però, qualora diminuisca la pressione esterna (come coll'applicazione delle coppette, o col salire molto rapidamente con un pallone aerostatico), si manifesterà con effusioni sanguigne l'eccesso della tensione dei gas interni.

Tuttavia la pressione atmosferica esercita anche alcuni utili uffici sul nostro organismo. Il capo articolare del femore sta aderente all'interna parete della cavità cotiloidea, nel mentre ruota in essa, perchè la superficie di questa è mantenuta levigata ed umettata per la pressione dell'aria esterna su le due superficie affrontate, fra le quali non evvi aria: epperò la pressione atmosferica ci aiuta a portare il peso degli arti inferiori. Da qui il senso di stanchezza che si prova salendo dove la pressione scemi d'assai. I fratelli Weber trovarono che, recidendo i tendini ed i muscoli, la gamba si mantiene attaccata al capo articolare, ma cade poi, pel proprio peso, appena si pratici un foro penetrante sino alla cavità cotiloidea, la cui superficie è proporzionata a reggere il peso della gamba. Queste osservazioni furono estese da Guérin a tant'altre articolazioni, e segnatamente a quella del capo articolare superiore dell'omero colla scapula.

§ 109. Che poi, in dipendenza del principio di Archimede, *il peso apparente d'un corpo varii colla densità dell'aria ambiente*, lo si pone in evidenza con un apparatino, immaginato dallo stesso Guericke e perfezionato da Musschenbroek.

Il flagello d'una piccola bilancia porta ai suoi estremi, da una banda un palloncino di metallo cavo e dall'altra una palla di piombo, il cui peso apparente sia assai prossimo a quello del palloncino; però la palla è portata da una piccola staffa, scorrevole sul flagello, cosicchè in ogni caso possa fissarsi a tal distanza dal fulcro, che la leva riesca orizzontale. Fissando questa bilancetta sul piatto della mac-

(a) Vedi la nota a pag. 9.

china pneumatica e coprendola con una campana a chiusura d'aria, non appena si comincerà a rarefare l'aria racchiusa, il flagello s'inclinerà un tal po' dalla parte del palloncino: e progredendo poi nella rarefazione con ulteriore maneggio, s'aumenterà la inclinazione della

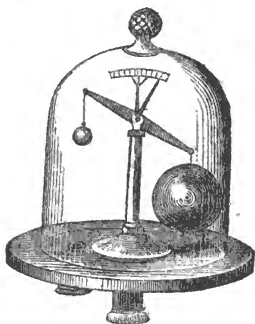


Fig. 63.

leva. Pertanto ogni diminuzione nella densità del fluido involgente i due corpi implica una maggiore diminuzione nella risultante delle pressioni esercitate sul corpo di maggior volume, e quindi il di lui peso apparente vien man mano rendendosi maggiore, più che non accada pel corpo di minor volume. Di poi, aprendo parzialmente la chiave della macchina, sicché l'aria rientri lentamente nella campana, la leva andrà grado grado accostandosi alla direzione orizzontale, nella quale si rimetterà quando l'aria interna abbia raggiunta la primitiva sua densità.

Espansività dei gas.

§ 110. I fluidi aeriformi facilmente si distinguono dai fluidi liquidi per la notevole loro mutabilità di volume. Si espandono distintamente col diminuire della pressione o coll'aumentare della temperatura, e si contraggono pur distintamente col crescere della pressione e collo scemare della temperatura. I liquidi variano di volume in una misura difficilmente sensibile, col variare su di essi l'esterna pressione; e, col mutare della temperatura, le corrispondenti mutazioni di volume, benché assai più sensibili che ne' solidi, sono di molto minori che negli aeriformi. Perciò codesti fluidi si chiamano anche *espansibili* (§ 7), appunto in riguardo a questa loro attitudine all'espandersi, ogni volta che si mettano in comunicazione con un recipiente di maggiore capacità, oppure che si diminuisca su di essi la pressione.

Tra le molte esperienze, che si possono istituire su questo argomento, sceglieremo talune di maggiore semplicità.

Sul piatto della macchina di rarefazione si ponga una capace ampolla, il cui collo abbia forma abbastanza regolare da poterne turare l'apertura con un tappo di gomma; e vi si sovrapponga una campana, il cui labbro aderisca per bene col piatto suindicato. Allora, estraendo dal cavo della campana parte dell'aria che vi si è inchiusa, potrà accadere che l'aria rinserrata nell'ampolla preme contro la base interna del tappo con tale eccedenza su la pressione, che l'aria

rarefatta eserciterà tuttavia su la base esterna del tappo stesso, da lanciarlo fuori con impeto, in onta all'aderenza della sua superficie conica con quella del collo dell'ampolla. Che se il tappo sarà fortemente serrato, e se il vetro dell'ampolla sarà sottile, potrà invece prodursi la esplosione dell'ampolla stessa, quando rarefatta l'aria esterna, l'interna dell'ampolla, colla propria tensione, vincerà la consistenza delle pareti vitree. Allora le pareti della boccia si riducono in minutissimi frammenti, che son lanciati con impeto a distanza.

Quest'esperienza mette di subito in chiaro che, tanto la pressione, che or dicemmo esercitarsi dall'aria esterna all'ampolla sul tappo e su la sua superficie esteriore, quanto ancora la tensione esercitata dall'aria interna contro la superficie del recipiente da essa toccata, corrispondono ad effettive impulsioni, le quali in modo incessante si esercitano dalle molecole vibranti del fluido aeriforme contro la superficie del solido, in pari modo a quanto si è detto per le pressioni esercitate dai liquidi (§ 63). Infatti il moto di proiezione del tappo, e meglio ancora, il moto di esplosione dell'ampolla, che col detto artificio si determina, non può essere altro che il risultato di un preesistente moto nelle molecole del fluido stesso.

A mettere in evidenza codesto stato dinamico delle molecole aeriformi, può servire anche questa esperienza. Sotto una campanella piuttosto alta si pone una boccetta, contenente sul fondo uno strato d'acqua e nel resto aria, chiudendone il collo con tappo di gomma attraversato da un cannello, aperto ai due capi, e pescante inferiormente nell'acqua. Tosto che si rarefaccia l'aria della campana, quella rinchiusa nella boccia, col proprio elaterio, farà salir l'acqua su pel cannello, anzi la farà zampillar fuori da questo con impeto, commisurato alla differenza



Fig. 64.

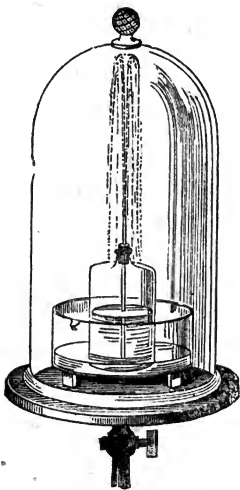


Fig. 65.

di densità dell'aria che è nella boccia e quella che è fuori nella campana. E questo moto continuando nell'acqua finchè sussista codesta differenza, fa prova di assiduo moto d'impulsione comunicatale dall'aria rinserata nella boccetta: poichè, giova ripeterlo, il moto attuale d'un corpo, sempre richiede un moto preesistente.

Pertanto fu a buon diritto chiamata *forza espansiva* o *tensione* codesta proprietà dei fluidi aeriformi, in quanto essa, al pari di tutte le forze motrici (§ 17), è la manifestazione di una forza viva inerente all'assiduo moto delle molecole de' fluidi aeriformi (a). E questa forza espansiva dell'aria, contenuta in un dato recipiente, diminuirà grado grado che s'andrà menomandone la densità (col cavarne fuori successive porzioni), in quanto che la forza viva dell'aria operante sull'unità di superficie diminuirà proporzionatamente al decremento nella massa toccante quella superficie nella unità di tempo.

A metter poi in evidenza la notevole variabilità di volume di un fluido aeriforme, in confronto a quella dei liquidi, per le esterne pressioni, si dispongano sul piatto della macchina pneumatica due bicchieri, o meglio due pozzetti a piedi, l'uno portante una provetta piuttosto alta, quasi piena di mercurio ed aperta superiormente, e l'altro sorregga una seconda provetta, preparata come segue:

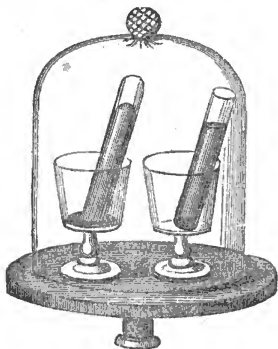


Fig. 66.

Si introduca in una provetta di vetro, portante divisioni di eguale capacità, tanto mercurio da empirne quasi interamente il vano, e turatane l'apertura col polpastrello del dito, la si capovolga e si faccia pescare l'estremo inferiore nel mercurio contenuto in opportuna pozzetta: ritirando allora il dito, si avrà diretta comunicazione del mercurio interno coll'esterno, e quel po' di aria che dapprima stava nella restante porzione del vano della provetta si recherà nell'alto di essa. Supponiamo che in tale condizione l'aria occupi circa 0,05 della capacità del tubo. La provetta così disposta, vien

(a) Crediamo quasi inutile l'osservare che ben diverso fu l'intendimento dei fisici i quali primamente si valsero di codesta espressione, *forza espansiva*, per accennare la proprietà de' fluidi aeriformi d'esercitare una pressione contro i corpi che impediscono loro di espandersi. Costoro pensavano che siffatta pressione potesse corrispondere ad un semplice sforzo o conato di parti, nelle quali il moto non fosse in atto, ma soltanto virtuale.

collocata insieme coll' altra succennata sul piatto della macchina, sovrappo-
nendo ad entrambe un' opportuna campana. Tosto che si farà
operare la macchina, l'aria della provetta si dilaterà, cacciando all'in-
giù parte del mercurio in essa esistente, e questi due moti, di espan-
sione dell'aria e di discesa del mercurio, andranno seguitando sino
al completo vuotamento di liquido della provetta, pur ché si seguiti nel
maneggio della macchina. Anzi, progredendo, si vedrà uscir fuori dalla
provetta, e gorgogliare attraverso il mercurio, un certo numero di
bolle di aria, a prova che essa ha aumentato più di 20 volte il proprio
volume primitivo. E ciò in quanto, colla rarefazione successiva del-
l'aria che stava sotto la campana, sarà andata scemando la sua tensione
e quindi la pressione da essa esercitata sulla superficie del mercurio
contenuto nella pozzetta e dal medesimo trasmessa (pel principio di
Pascal) all' aria rinchiusa nella provetta, prestando così modo alla
tensione di questa a prevalere su la esterna. Se allora si aprirà cau-
tamente la chiave, col rientrare dell'aria esterna nella campana, si
vedrà risalire il mercurio nella provetta, a riempirla apparentemente,
poichè l'aria rimastavi entro vi presenterà un volume minore del
primo. Ebbene, durante queste operazioni, non avrà variato, in modo
sensibile, il volume del liquido contenuto nella provetta aperta, ben-
chè esso risentisse le variazioni nella pressione del-
l'aria rinchiusa sotto la campana, al pari del mer-
curio che comunicava la sua pressione all'aria della
provetta chiusa.

E che per contro un gas possa facilmente ridursi
sotto un volume d'assai minore dell'attuale, lo si
dimostra con una provetta graduata, come la prece-
dente, la quale sia introdotta nell'acqua, coll'estre-
mo aperto all'ingiu, sicchè rimanga quasi tutta pié-
na d'aria, e ponendola entro una capace pozzetta
di vetro a pareti robuste e munita di una tubu-
latura metallica, nella quale si possa sospingere
verso l'interno un embolo a tenuta di liquido. Au-
mentando gradatamente la pressione su di questo,
col sospingere lentamente l'embolo mercè una vite,
si scorge andar gradatamente scemando l'altezza
della colonna d'aria nella provetta; e la si potrà
ridurre ad un ottavo ed anche ad un sedicesimo
dell'altezza primitiva, se le pareti del recipiente
saranno abbastanza resistenti. Però, rallentando
ancora gradatamente la pressione, col girar la vite
in senso contrario, il volume dell'aria aumenterà
di nuovo, sino a ridursi alla misura primitiva, se anche la pressione
sarà ricondotta al grado di prima.



Fig. 67.

Pertanto *i fluidi aeriformi manifestano ed una distinta variabilità di volume, ed una perfetta elasticità*, come si accennò al § 7. E la loro espansività rivela uno stato di assiduo moto nelle loro molecole.

Barometri.

§ 111. La canna di Torricelli (§ 107), preparata in modo da porgerci agevolmente ed esattamente la misura della pressione atmosferica e delle sue variazioni, nomasi barometro, da $\beta\acute{\alpha}\rho\omicron\varsigma$, peso. Per diversi riguardi si preferisce il mercurio, qual liquido barometrico. Non aderisce al vetro; come assai denso, richiede poca altezza nella canna; mantiene lo stato liquido anche a bassa temperatura, e come pochissimo vaporabile alle temperature ordinarie non produce nella camera barometrica tali vapori, che abbiano una forza espansiva valevole a diminuire sensibilmente l'altezza della colonna liquida dovuta alla pressione esterna.

Per costruire un barometro a dovere richiedonsi le seguenti diligenze:

1.^o Il mercurio dev'essere ben puro, onde abbia la sua normale densità e dilatabilità; nel commercio è sempre misto a metalli eterogenei. Lo si ottiene puro dal cinabro (solfuro di mercurio), calcinandolo in ritorta di grès con limatura di ferro; ovvero abbrustolendolo in forni ove sia copioso l'afflusso dell'aria. Si può anche usare il mercurio del commercio, distillandolo però più volte entro matracci di ferro, oppure depurandolo con successive lavature con acido nitrico molto diluito, che discioglie i metalli eterogenei, e poi lavandolo in abbondante acqua, e quindi con acido solforico concentrato, per toglierne l'ossido.

2.^o La camera barometrica dev'essere perfettamente vuota d'aria e d'umidità. Perciò bisogna far dapprima bollire il mercurio nella canna stessa. Si riconosce soddisfatta questa condizione, se inclinando un po' bruscamente la canna, s'ode un vibrato urto metallico fatto dal mercurio contro la sommità di essa.

3.^o Parallelamente all'asse della canna dev'esservi una scala, divisa in millimetri, per modo che il di lei principio coincida in ogni caso col livello del mercurio nel pozzetto. Ciò si ottiene col pozzetto a fondo mobile, che si sposta col girare la testa d'una vite annessa ad un disco metallico, su cui posa il sacchetto di pelle di daino, che serve di fondo: un galleggiante d'avorio, scorrevole entro canale semicilindrico, fissato perpendicolarmente al coperchio del pozzetto, serve a rilevare le coincidenze del livello interno collo zero della scala. Nel barometro Fortin col pozzetto traslucido evvi invece ■■

indice d'avorio fisso alla parte superiore interna del coperchio stesso e si riduce la superficie del liquido tangente il vertice dell' indice, il quale corrisponde allo zero. Nel barometro a sifone sonvi due scale, in corrispondenza ai due rami della canna, aventi lo zero comune e colle divisioni precedenti in verso contrario; perciò si sommano le distanze delle due superficie del liquido dallo stesso zero. In taluni barometri a pozzetto molto largo si trascura lo spostamento del livello inferiore.

4.^o La canna, almeno in quel tratto ove accadono le escursioni della superficie libera interna, dev'essere calibra, onde poter ritenere costante la correzione di capillarità, la quale è sempre addittiva nei barometri ad un sol ramo. In quelli a sifone bisogna tener conto della differente curvatura della superficie libera ne' due rami, benchè questi abbiano eguali diametri (a).

Per determinare il raggio d'una data sezione orizzontale d'una canna torricelliana, vi si versa del mercurio finchè il livello resti 2 o 3 centimetri al disotto di tale sezione, riferendo l'altezza della sommità del menisco a qualche scala divisa in millimetri, o meglio leggendola con un catetometro; si pesa la canna in un col mercurio, poi vi si versa altro mercurio, sinchè la sommità del menisco giunga a 2 o 3 centimetri al disopra della detta sezione; si determina l'altezza a del mercurio versa-

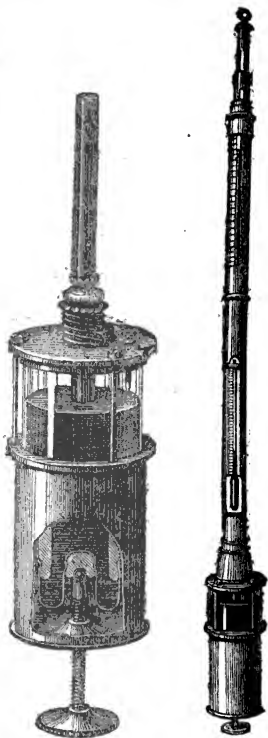


Fig. 68.

(a) Il menisco in contatto coll'aria è sempre più convesso dell' altro che guarda la camera vuota, talchè la correzione di capillarità sarà deduttiva. Quest'è uno degli inconvenienti di codesta forma di barometro. Inoltre il mercurio nel ramo aperto, ossidandosi per l'umidore atmosferico, offusca in breve il vetro, sicchè difficile riesce il rilevarne il livello su la scala.

to in secondo luogo, il peso p del quale ottiensì pesando ancora la canna, con che si avrà :

$$r = \sqrt{\frac{p}{\pi a d}},$$

posto d il peso specifico del mercurio.

§ 112. Per osservare il barometro, lo si dispone liberamente pendente da un anello posto alla sommità della custodia, e si verifica se l'asse della canna sia verticale, col tragarlo mercè un filo a piombo in due direzioni tra loro perpendicolari. Indi si legge l'indicazione del termometro unito, che dev'essere incassato nella custodia e col recipiente piuttosto grande, affinchè sia poco pronto, al pari del mercurio contenuto nel barometro, a risentire le variazioni della temperatura dell'ambiente. Questa lettura deve essere fatta rapidamente, come pure le operazioni seguenti.

Si riduca colla vite annessa al fondo mobile la superficie libera del mercurio ad essere tangente il vertice dell'indice conico, cosicchè sembrino toccarsi la sua immagine diretta e quella riflessa del mercurio. Poscia con qualche leggier colpo dato sulla custodia, si imprima tal moto d'oscillazione al mercurio nella canna, che tolga l'effetto dell'aderenza del liquido al vetro e determini la curvatura normale nel menisco. Allora si conduce il lembo inferiore dell'anello corsojo portante il nonio, ad esser tangente la sommità del menisco. E infine si leggono su la scala i millimetri e sul nonio i decimi di millimetro, che insieme danno l'altezza barometrica, susidiando la lettura del nonio con una lente.

Convien pure verificare se il lembo inferiore del detto anello sia perpendicolare all'asse del tubo; se lo zero del nonio corrisponda al piano di tal lembo, e se il nonio sia diviso esattamente. Inoltre, col mezzo di un catetometro, converrebbe verificare se la scala porti giuste divisioni.

Le altezze barometriche osservate sotto temperature differenti, e quindi con densità differenti, devono essere ridotte a quelle che sarebbersi avute colla costante temperatura 0° , mercè la :

$$(79) \quad a' = a (1 - 0,0001616 \ t),$$

qualora la scala sia segnata su un'asta di ottone continua (a).

E poichè, variando l'altitudine e la latitudine varia il valore della gravità e quindi il peso assoluto del mercurio, si riduce l'altezza

(a) Come vedremo innanzi, il coefficiente 0,0001616 corrisponde alla differenza tra il coefficiente di dilatazione cubica del mercurio (0,0001803) ed il coefficiente di dilatazione lineare dell'ottone (0,000037).

b osservata alla latitudine λ ed all'altitudine α , a quella b' che sarebbe avuta ove la gravità avesse il valore che ha a 45° ed al livello del mare (§ 50 e 51) giusta, la :

$$(80) \quad b' = b (1 - 0,0026 \cos 2 \lambda) \left(1 - \frac{m \alpha}{r} \right),$$

ove r indica il raggio terrestre, ed $m = 2$ oppure $\frac{4}{5}$ secondo che il punto sarà isolato, o farà parte di regione elevata.

La miglior forma di barometro per gli osservatori meteorici, e quale fu adottata da molti in Italia, è quella a sifone, avente però le camere a grande sezione. L'unità figura risponde al modello da me suggerito al *Tecnomasio* di Milano sulle norme seguite in altro barometro, fatto costruire dal Belli a Pavia. Le due camere cilindriche hanno il diametro da 25 a 30 millim. E così la lettura dei due livelli riesce comoda e sicura; ed il mercurio nella camera aperta può essere ripulito facilmente dall'ossido che si forma alla superficie libera.

§ 113. Il *barometro a bilancia*, proposto da Secchi, può intendersi facilmente, supponendo fissa la canna, e portato da un bacino il pozzetto. Immaginando estesa la superficie libera del mercurio esterno a segare la canna, si comprende che il mercurio contenuto in questa, superiormente a tal livello, non preme sul mercurio del pozzetto diversamente di quel che farebbe l'aria stessa: talché il bacino non risente il peso del mercurio che sta nella canna, essendo codesta pressione verticale dall'alto al basso equilibrata dalla pressione eguale e contraria sofferta dal fondo della vaschetta. Ora, se la pressione cresce, passando una parte del mercurio dal pozzetto nella canna, essa più non peserà sul bacino: e reciprocamente, diminuendo la pressione. Si noti che la variazione nella temperatura o nella densità del mercurio non avrà influenza su la variazione nel peso del pozzetto: solo influenzerà la relazione fra l'area della sezione del tubo in contatto colla superficie libera interna e l'altezza unitaria. Per esempio, se tale area fosse di 6 c. q., la variazione nella pressione d'un millimetro darebbe

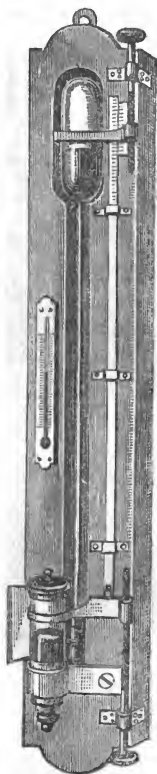


Fig. 69.

una variazione nel peso di grammi 8, 16: epperò la variazione di mill. 0,01 di mercurio corrisponderebbe a grammi 0,08, frazione ancor facilmente valutabile.

Per agevolare queste pesate si può collegare alla bilancia un di-

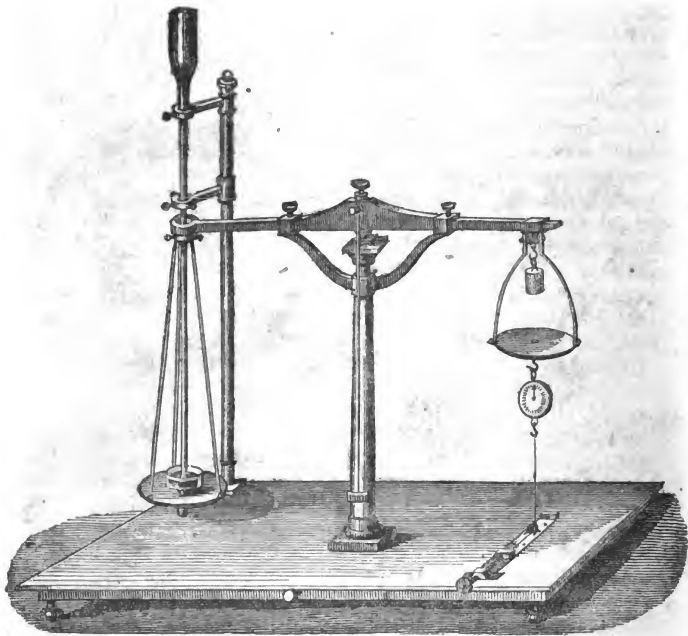


Fig. 70.

namometro ad elastro assai sensibile, il quale vien fatto operare stirando un filo, fino a che il flagello si renda orizzontale (a).

Il *barometro metallico* di Bourdon riposa sul dato che un tubo a

(a) Questa forma di barometro a bilancia fu da me indicata all'officina del *Tecnomasio*, dove venne costrutta secondo il disegno suesposto, e può servire a delicate ricerche. Il Secchi tenne invece fisso il pozzetto, e sospese al flagello della bilancia la canna baremetrica.

pareti flessibili e leggermente appianate o schiacciate, ed incurvato nel senso del suo diametro minore, tende a scemare di curvatura per l'interna pressione e ad aumentare per la pressione esterna. Perciò il tubo è vuoto d'aria, ben chiuso ed incurvato, col suo punto di mezzo fissato ad un anello, e co' suoi estremi liberi, connessi con due fili metallici ad una leva che fa muovere l'asse d'un indice in opposto verso, secondo che la pressione esterna aumenta o diminuisce. Questo barometro, benché di facile maneggio e trasporto, va soggetto, come quello di Vidi, chiamato *aneroido*, a notevoli alterazioni nel coefficiente d'elasticità del tubo, talché conviene verificarne di frequente la graduazione, e richiede una correzione per la temperatura, da determinarsi con opportuni confronti con un barometro normale.

§ 114. A mostrare l'influenza delle altitudini e delle stagioni sulla pressione atmosferica gioverà esporre qui le altezze barometriche

medie annue di alcune stazioni d'Italia, dedotte da osservazioni continuate pel novennio 1866 al 1874, aggiungendovi le differenze tra le medie altezze delle singole stagioni e la stessa media annua. In generale la pressione è massima nel verno e minima in primavera.



Fig. 71.

Pressione barometrica ridotta a 0°.

STAZIONI	Latitudine	Altitudine in metri sul mare	Media annua	DIFFERENZA COLLA MEDIA ANNUA			
				Inverno	Primavera	Estate	Autunno
Udine	46° 3'	116.0	751.3	+1.8	-1.7	-0.6	+0.5
Milano	45. 28	147.1	748.8	+2.5	-2.1	-1.1	+0.5
Pavia	45. 11	97.8	753.0	-2.5	-1.7	-1.1	+0.5
Alessandria	44. 54	97.9	753.0	-2.5	-2.0	-1.1	+0.5
Torino	45. 4	276.0	737.2	-2.7	-2.0	-1.2	+0.6
Moncalieri	44. 59	259.7	738.8	-2.6	-2.0	-1.3	+0.5
Mondovì	44. 22	556.0	713.2	-1.6	-2.0	-1.3	+0.5
Genova	44. 25	48.0	757.3	-1.6	-1.4	-0.4	+0.5
Modena	44. 39	64.4	756.0	-2.4	-1.9	-1.0	+0.5
Livorno	43. 32	23.9	759.4	-1.5	-1.5	-0.3	+0.2
Firenze	43. 46	72.6	755.4	-1.8	-1.6	-0.7	+0.4
Urbino	43. 43	451.0	721.9	-2.8	-1.6	-0.7	+0.5
Ancona	43. 38	30.2	759.6	-1.8	-1.5	-0.8	+0.6
Siena	43. 18	348.5	731.0	-1.8	-1.6	-0.6	+0.4
Perugia	43. 8	520.0	717.0	-2.0	-1.8	-0.9	+0.6
Camerino	43. 6	662.0	—	-1.9	-1.7	-0.7	+0.5
Roma	41. 53	49.6	757.3	-1.5	-1.6	-0.3	+0.4
Velletri	41. 41	385.0	—	-1.5	-1.4	-0.5	+0.4
Napoli (S.R.)	40. 52	149.0	748.9	-1.6	-1.4	-0.4	+0.4
Palermo	38. 7	72.2	754.4	-1.3	-1.4	-0.1	+0.3

La legge di Boyle.

§ 115. Per la teoria dei gas fu di molta importanza la scoperta della legge relativa alla loro comprimibilità. Dapprima l'inglese Boyle nel 1661, in un pregevole opuscolo intitolato: *Defensio contra Linum*, e dipoi il francese Mariotte, nella sua opera *De la nature de l'air*, edita nel 1766, provarono che, *variando la pressione su di una massa d'aria ben secca, mantenuta a costante temperatura, i volumi da essa presentati in ciascun caso sono inversamente proporzionali alle corrispondenti pressioni, e quindi le corrispondenti densità e le corrispondenti tensioni risultano in ragione diretta delle pressioni stesse.*

Boyle dimostrò questa legge sia per pressioni superiori a quelle d'un'atmosfera (da 1 a 4 atmosfere), sia per pressioni inferiori (da 1 a 0,03 di atmosfera). Mariotte propose per queste dimostrazioni tale apparecchio, il quale ebbe la fortuna di essere quasi comunemente e pur tuttodì adoperato, sebbene non sia molto appropriato all'intento. Questa fu una forse delle ragioni per cui la legge anzidetta venne per lunga pezza ritenuta rigorosa: laddove, come vedremo innanzi, essa è puramente una legge di approssimazione.

L'apparecchio comune di Mariotte consiste in un tubo di vetro a sifone, il cui ramo corto è chiuso superiormente, ed è diviso in parti d'eguale capacità, mentre il ramo lungo ed aperto porta una scala con divisioni equidistanti tra loro. Supponiamo che nel ramo corto siasi rinchiusa aria ben secca mediante una colonna di mercurio che, investendo la parte curva del sifone, giunga ad egual livello ne' due tubi: in tal caso può dirsi che la tensione dell'aria rinchiusa eguaglia esattamente la pressione b dell'atmosfera esterna, che si determinerà mediante un barometro. Allora sia n il numero delle unità di capacità che in tal

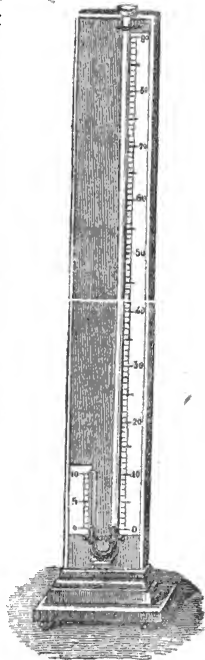


Fig. 72.

condizione sono occupate dall'aria nel ramo chiuso, e si versi pel tubo aperto tanto mercurio per modo che la differenza di livello delle colonne contenute nei due tubi corrisponda alla stessa misura

b : in tal condizione può dirsi che la pressione esercitata sull'aria rinchiusa corrisponde a $2b$. Ebbene, misurando allora il volume dell'aria stessa, risulterà assai prossimamente la metà di n unità di capacità; cosicchè, ponendo a confronto i due casi, si avrà:

$$\frac{n}{2} : n = b : 2b,$$

cioè i volumi d'una massa d'aria a temperatura costante sono in ragione reciproca delle corrispondenti pressioni da essa sofferte.

Questa relazione può verificarsi anche per pressioni minori di quella dell'atmosfera, adoperando una pozzetta di molta profondità quasi piena di mercurio, ed una canna torricelliana che non sia interamente piena di mercurio, talchè turandone l'apertura, capovolgendola e tuffandone l'estremo nel mercurio della pozzetta rimanga chiusa dell'aria secca entro la canna. Affondando poi questa sicchè si corrispondano i due livelli del mercurio entro la canna e fuori, si legge la pressione barometrica b ed il numero n di unità di volume occupate allora dall'aria nella canna, mentre la tensione di questa eguaglierà la pressione b . Indi si solleva la canna tanto che il volume dell'aria stessa diventi $2n$; allora la differenza di livello del mercurio nella pozzetta e nella canna corrisponderà prossimamente a $\frac{b}{2}$ e quindi la tensione effettiva dell'aria sarà $b - \frac{b}{2} = \frac{b}{2}$; epperò confrontando i due

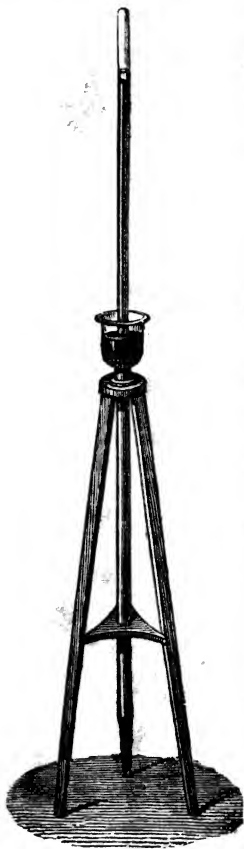


Fig. 73.

casi, s'avrà analogamente al precedente risultato:

$$2n : n = b : \frac{b}{2}$$

Ma il più preciso modo di riconoscere coll'esperienza la legge di Boyle può ritenersi il seguente, fondato su l'impiego del catetometro (§ 15).

Si prenda una campanella piuttosto lunga, stata accuratamente divisa in parti d'eguale capacità coll'introdurvi man mano eguali volumi di mercurio. Riempitala dapprima con mercurio ben secco, stando essa colla sua apertura tuffata in altro mercurio posto in un largo vaso di vetro a pareti cilindriche, vi si faccia gorgogliare per entro, per mezzo di un gasometro, tal quantità d'aria, che investa circa un terzo del cavo della campanella, passando essa, innanzi giungervi, in una serie di tubi ad U, contenenti materie essiccanti (come pezzetti di cloruro di calcio o frantumi di pomice inzuppati nell'acido solforico concentrato). Si lasci di poi trascorrere qualche tempo, perchè l'aria interna si equilibri nella temperatura col mercurio e col vetro che la toccano, e si fissi la campanella col suo asse di figura verticale, per modo che il mercurio nell'interno della medesima abbia un livello molto più elevato di quello che ha al di fuori.

Allora col catetometro si misuri l'altezza a del detto livello interno rispetto al livello esteriore, il quale supporterà intera la pressione atmosferica, data dall'altezza b della colonna barometrica, rilevata all'atto stesso dell'esperienza e ridotta alla stessa temperatura che ha il mercurio nel vaso; e si noti pure con accuratezza il volume v che in tale stato presenta l'aria rinchiusa, desumendolo dalle predette divisioni della sua interna capacità. Fatto ciò, si affondi di un buon tratto la campanella nel mercurio del vaso, cosicchè l'aria diminuisca notevolmente di volume, stando però ancora il livello del mercurio interno alcun po' elevato su l'esteriore. E qui, trascorso alcun tempo, si noti la differenza di livello a' del mercurio nei due recipienti d , il volume v' dell'aria interna, e la pressione barometrica b' dell'esterna, nei modi sovradetati.

È facile intendere che in questi due casi la pressione esercitata nell'aria interna sarà rispettivamente rappresentata da $b-a$ e da $b'-a'$, e che però, se la legge di Boyle si verificasse a rigore, ed ove si fosse proceduto a dovere in ogni determinazione, dovrebbe sussistere la relazione:

$$v(b-a) = v'(b'-a');$$

ossia, in termini più generali, poste p e p' le pressioni (misurate sempre coll'altezza della colonna di mercurio a 0° che le produce), si avrà:

$$(81) \quad v p = v' p'$$

cioè dovranno nei due casi essere eguali i prodotti del volume dell'aria per la corrispondente pressione. E poichè le densità d e d' di una stessa massa d'aria a temperatura costante devono essere inversamente proporzionali ai volumi rispettivi, cioè essendo:

$$v d = v' d',$$

si avrà anche:

$$(82) \quad \frac{p d'}{p' d} = 1.$$

E d'altronde la tensione, cui si riduce in ogni caso il gas, dovendo essere tale da produrre una pressione eguale ed opposta alla pressione che su di esso si esercita, poste f ed f' le forze espansive del gas corrispondenti alle pressioni p e p' , si avrà pure:

$$(83) \quad f v = f' v'$$

od anche:

$$(84) \quad f d' = f' d.$$

Perciò le (81), (82), (83) e (84) saranno altrettante espressioni della stessa legge di Boyle.

Col precedente apparecchio si può ancora riconoscere la legge di Boyle nel caso in cui la pressione venga nella seconda prova diminuita anzichè accresciuta, qualora in quest'altra prova la campanella, invece d'essere affondata, venga alcun po' sollevata, senza che però emerga dal mercurio il labbro di essa, per modo che risultando maggiore l'altezza del mercurio entro la campanella, l'aria interna risentirà una pressione minore. Del resto si procederà come addietro, rilevando e la differenza di livello del mercurio nei due vasi, e il volume dell'aria rinchiusa, e la esterna pressione barometrica, e stabilendo di poi proporzioni od equazioni analoghe alle precedenti (a).

In via provvisoria e di semplice approssimazione, riterremo da qui innanzi attendibile la legge di Boyle, purchè si tratti di gas secchi, di tali gas che non si prestino alla liquefazione anche con forti pressioni, ed entro limiti poco estesi di variazione nella pressione.

Applicazioni della legge di Boyle.

§ 116. I manometri (da *μανος* raro) sono stromenti che s'adopero a misurare le forze espansive dei gas e dei vapori, e che però hanno

(a) Nell'eseguire le precedenti prove bisogna aver molta cura che da una ad altra non varii sensibilmente la temperatura del gas, e tener conto dell'influenza delle azioni capillari, come si dirà altrove.

diversa costituzione, secondo l'intensità delle forze da determinare.

Per le pressioni minori di un'atmosfera serve un manometro a tubo chiuso e vuoto d'aria, analogo al tubo torricelliano: il mercurio che è nel pozzetto è fatto comunicare per opportuna tubulatura a chiave col gas, del quale vuolsi misurare la forza espansiva, che sarà data dall'altezza del mercurio nel tubo sopra il livello del pozzetto.

Così fatto è il *provino* che si annette alla macchina pneumatica (§ 122) per conoscere i vari gradi di rarefazione dei gas contenuti nei recipienti che le si applicano. Talora però vien esso ridotto ad un tubo ricurvo ad U, un cui ramo è chiuso, vuoto d'aria, e pieno di mercurio, e l'altro è aperto e riceve la pressione del gas che si diffonde in una campanella che lo involge: ciascuno dei rami è lungo circa 35 centimetri, nel qual caso comincia solo ad operare quando la pressione è ridotta al punto che il mercurio che si abbassa nel ramo chiuso incomincia ad elevarsi nell'altro; cosicchè la misura della pressione è data dalla differenza di livello del mercurio nei due rami.

Per le pressioni poco maggiori d'un'atmosfera può servire un tubo aperto ai due estremi, uno dei quali peschi nel mercurio contenuto in un pozzetto chiuso, ove si trasmette la pressione da misurarsi, la quale si avrà aggiungendo la pressione barometrica a quella corrispondente alla differenza di livello del mercurio entro e fuori del tubo. Questa forma di strumento si chiama *manometro ad aria libera*, e qualora il tubo abbia l'altezza di due metri e mezzo può servire a misurare forze espansive comprese tra 1 e 4 atmosfere.

Più conveniente per esatta misura è il *manometro a due tubi comunicanti*. Nell'uno di essi, per opportuna chiave superiore, s'introduce il gas: i due tubi comunicano inferiormente col mezzo di doppia tubulatura in ferro, munita di chiave; l'altro tubo più lungo sta superiormente aperto. La chiave inferiore è fatta con tali incavature da consentire a tre intenti: 1.^o stabilire la comunicazione tra i due tubi; 2.^o interromperla; 3.^o far comunicare uno solo dei tubi col tubetto inferiore di scarico. Di tal modo, sia aggiungendo mercurio pel tubo aperto, sia cavando mercurio dall'uno o dall'altro tubo, si ottiene la misura di qualsiasi tensione, tanto inferiore quanto superiore (di non molto però) alla atmosferica, la quale va sempre aggiunta alla differenza di livello del mercurio ne' due tubi, letta col mezzo d'un catetometro.



Fig. 74.

Per le pressioni maggiori s'adopera il *manometro ad aria chiusa*. Consiste in un tubo di cristallo ben calibro, chiuso superiormente, ed inferiormente saldato con un pozzetto di ferro, contenente mercurio, munito pure di tubulatura con chiave. Nel tubo dev' esservi aria ben secca, in tale quantità che il mercurio sia allo stesso livello entro e fuori del tubo, quando si eserciti su quest'ultimo la pressione di un'atmosfera. Allora, dividendo l'altezza del tubo in parti d'eguale capacità, si avrà la misura della forza espansiva del gas che si fa comunicare colla vaschetta, giovandosi della legge di Boyle.

Poichè la sensibilità del manometro ad aria chiusa, supposto calibro, va rapidamente decrescendo coll'aumentare della pressione, per le forti pressioni si preferisce il *manometro metallico* di Bour-

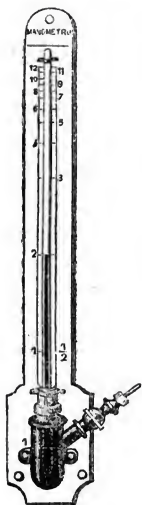


Fig. 75.

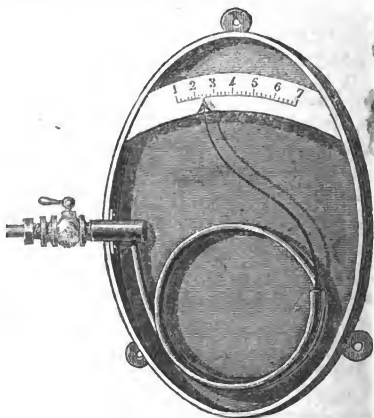


Fig. 76.

don, analogo al barometro metallico (§ 89), formato da un lungo tubo a sezione ellittica, ripiegato a più giri a modo di una spirale. Facendo entrare nel tubo interno il gas, esso tenderà a svolgersi tanto più quant'è maggiore la interna pressione rispetto all'esteriore.

§ 117. A molti usi s'adoperano nei laboratori i due seguenti apparecchi: il gasometro ed il vaso di Mariotte.

Il *gasometro* è costituito da un vaso metallico tutto chiuso, che tiene superiormente un serbatoio di liquido, dal fondo del quale partono due tubulature, munite entrambe di chiave, l'una delle quali sbocca presso il fondo del vaso e l'altra alla sommità di esso. Il vaso

gasometrico porta altresì una larga tubulatura al fondo chiusa da tappo ed un breve tubo con chiave alla sommità. Un tubo di vetro che si connette colle due basi serve a rivelare il livello del liquido interno. Per usarne, s'incomincia ad empir d'acqua anche tutto il vano del vaso, aprendo le chiavi delle due tubulature del serbatoio: per l'una scende l'acqua e per l'altra esce l'aria. Indi, chiuse queste chiavi, si introduce il gas per mezzo d'un tubo ripiegato che si fa penetrare per la larga tubulatura di fondo, nel mentre l'acqua esce proporzionalmente al volume del gas introdotto colla pressione atmosferica. Chiusa poi la tubulatura stessa di fondo, se vuolsi usare il gas rinchiuso lo si fa uscire dal breve tubo laterale nel sommo del vaso, aprendo pure la chiave della tubulatura che fa comunicare il serbatoio d'acqua col fondo del vaso.

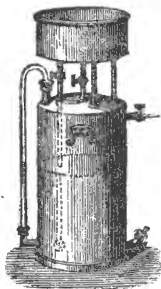


Fig. 77.

Il vaso di Mariotte può anche servire a produrre un efflusso costante di liquido. Una boccia porta un tubo di vetro aperto ai due estremi attraverso al tappo che la chiude superiormente, ed è munita di tre aperture *a*, *b*, *c*, laterali, a diverse profondità, che possono chiudersi a chiave. La boccia ed il tubo sian dapprima pieni d'acqua e l'estremo interno del tubo stia a livello dell'apertura *b*: aprendo questa, si vuoterà rapidamente di liquido il tubo, ma tosto dopo cesserà l'efflusso da *b*, tenendosi piena la boccia, poichè allora tutti i punti dello strato orizzontale passante per *b* sopportano egualmente soltanto la pressione atmosferica. Chiusa *b* ed aperta *a*, entreranno da questa alcune bolle d'aria, facendo salire l'acqua nel tubo sino al livello di *a*, poichè dianzi lo strato liquido a tal livello esercitava, per ciò che si disse poc'anzi, una pressione minore dell'atmosferica d'una quantità corrispondente alla colonna liquida alta *ab*. Finalmente, chiudendo *a* ed aprendo *c* l'acqua sgorgnerà da questo; ma tosto che il liquido nel tubo giungerà al livello *b*, l'ef-

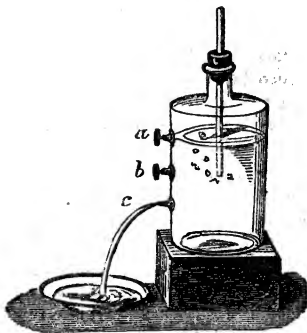


Fig. 78.

flusso da *c* si manterrà a velocità costante, poichè mano mano che il liquido va sgorgando, entrerà aria dal tubo libero, la quale, recandosi nell'alto della boccia, eserciterà una tensione, ad ogni istante, eguale alla differenza che corre tra la pressione atmosferica e quella dovuta alla colonna d'acqua che rimane al disopra del livello *b*. Quindi l'efflusso si manterrà sempre come se fosse dovuto ad una colonna d'acqua della costante altezza *bc*.

§ 118. Il barometro vien frequentemente adoperato a valutare l'elevazione d'un luogo sovra d'un altro, e quindi le altitudini di varii luoghi sul livello dei mari. Supponendo la gravità costante in tutta l'altezza dell'atmosfera, la temperatura in essa uniforme e la legge di Boyle applicabile anche a grandi rarefazioni, la densità dell'aria decrescerebbe per doppia ragione, e perchè diminuisce man mano il peso degli strati sovraincumbenti e perchè la densità dei medesimi diminuisce nella stessa proporzione: talchè la densità dell'atmosfera dovrebbe decrescere in ragione geometrica per altezze crescenti in ragione aritmetica. Epperò colla medesima legge dovrebbero andar decrescendo e la forza espansiva e la pressione dell'aria atmosferica, e quindi anche l'altezza della colonna del mercurio (supposta a densità costante) che equilibra siffatta pressione. Ma, infatto, la densità dell'aria decresce secondo una legge ben più complessa, perciocchè la gravità diminuisce d'intensità coll'elevarsi sul livello dei mari (§ 60); la temperatura varia sensibilmente da strato a strato ed è rapidamente variabile in ciascun d'essi; il vapor acqueo, la cui densità è minore di quella dell'aria, vi sta diffuso in quantità assai variabile, e la legge di Boyle non è applicabile che entro stretti limiti di differenza nella densità.

Ecco la formola, proposta da Laplace, e che comunemente si adopera per le livellazioni barometriche, supponendo che le due stazioni distino di poco tra loro nel senso orizzontale:

$$a = 18393^m \log \frac{b}{b'} \left(1 + \delta \frac{t+t'}{2}\right) (1 + 0,0026 \cos 2 \lambda) \left(1 + \frac{a+15926}{r} + \frac{2a'}{r}\right),$$

nella quale *b* e *b'* esprimono le altezze barometriche osservate nelle due stazioni, la inferiore e la superiore, ridotte però entrambe alla temperatura 0° e corrette per la capillarità; *t* e *t'* la temperatura dell'aria nelle due stazioni all'atto dell'osservazione barometrica; *δ* il coefficiente di dilatazione cubica dell'aria; *λ* la latitudine geografica delle stazioni; *a* l'altezza della stazione superiore sovra l'inferiore; *a'* l'altezza di quest'ultima sul livello de' mari, ed *r* il raggio terrestre corrispondente alla latitudine *λ*.

Onde tener poi calcolo dell'influenza dell'umidore atmosferico, si suole aumentare il valore di *δ*, assumendosi per esso 0,004, invece di

0,00367, che troveremo più avanti per l'aria secca, ed allora, invece del coefficiente

$$1 + \delta \frac{t+t'}{2}, \text{ può porsi } 1 + 2 \frac{t+t'}{1000}$$

più semplicemente. Ma, infatti, codesta supposizione che in tutta la colonna d'aria interposta tra le due stazioni possa ritenersi qual valor medio delle temperature dei singoli strati la semisomma delle temperature osservate alle estremità della colonna stessa, può solo accettarsi per un'altezza poco rilevante: laddove non la si può accogliere in generale, poichè la temperatura dell'atmosfera non decresce proporzionalmente all'altitudine, come qui si suppone, ma secondo una legge più complessa.

E si avverta che la quantità ricercata α entrando anco nel secondo membro dell'equazione precedente, converrà risolvere questa col metodo delle approssimazioni successive. Cioè, si potrà tener conto dapprima dei soli fattori del secondo membro che non contengono α , trovar così un primo valore approssimato di α , il quale poi, posto anche nei fattori prima trascurati, e risolta ancora l'equazione, darà un valore più approssimato di α : e così di seguito, ove si desideri un'ulteriore approssimazione.

È facile riconoscere che la predetta formola, per l'influenza delle supposizioni fatte in confronto alle effettive leggi della comprimibilità e del decremento nella temperatura, non soddisfa alle reali condizioni dell'atmosfera. Poichè, calcolando per essa a quale altezza su l'oceano converrebbe elevarsi per rinvenire tale strato in cui l'aria abbia la forza espansiva di un millimetro di mercurio soltanto, cioè quel maggior grado di rarefazione, che può ottenersi colle migliori macchine pneumatiche, si trova un'altitudine di poc'oltre 48 chilometri, ponendo:

$$b = 760, b' = 1, t' = -60^\circ, t = 13^\circ, a' = 0, \text{ e } \lambda = 45^\circ.$$

Laddove le osservazioni su la durata dei crepuscoli, altre su gli eclissi di luna, e più ancora quelle su le stelle cadenti e su le aurore polari concorrono a dimostrare: che, pur oltre i trecento chilometri sul livello dei mari, vi debb'essere aria ancora abbastanza densa da riflettere e rifrangere benchè scarsamente la luce solare, da reagire al moto degli asteroidi, e da servire di base alla luce elettrica.

Babinet osservò che l'anzidetta formola, per approssimazione, può essere liberata dai logaritmi, ponendo in essa il fattore:

$$16000 \frac{b-b'}{b+b'} \text{ in luogo di } 18393 \log \frac{b}{b'}.$$

il quale può assumersi con sicurezza finchè $b - b'$ non ecceda cento millimetri.

Le stagioni e le ore del giorno più opportune per codeste osservazioni son quelle nelle quali la temperatura alla stazione inferiore più si approssima, rispettivamente, alla media annua ed alla media diurna; cioè nell'aprile fra le 7 e le 9 ore del mattino, e nell'ottobre

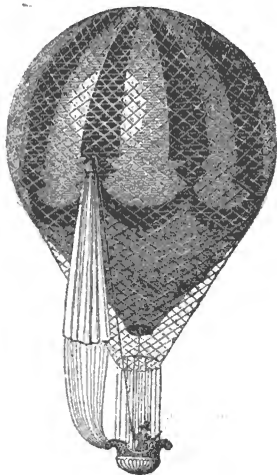


Fig. 79.

Il pallone, dapprima affatto sgonfio, viene enfiato coll'immissione

fra le 8 e le 10 antim., per latitudini poco discoste da 45° nell'emisfero boreale. Inoltre la giornata deve essere serena e senza vento.

§ 119. Il salire degli aerostati nell'atmosfera fa chiara prova della pressione che l'aria involgente esercita su la loro superficie e la risultante della quale è data dal principio di Archimede (§ 105). Già il P. Lana nel 1670 esponeva abbastanza chiaramente la teoria di codesti apparecchi ed indicava un modo per regolarne la salita. Ma solo il Cavallo (1781) col gas idrogeno ed i fratelli Montgolfier (1783) coll'aria rarefatta dal calore attuarono quell'idea. In seguito parecchi fisici e naturalisti distinti si avventurarono a codesti voli per istudiare lo stato dell'atmosfera in regioni elevate. Meritan soprattutto ricordo i voli di Gay-Lussac (1804), di Andreoli e Brioschi (1807), di Barral e Bixio (1850) e di Coxwell e Glaisher (1862), che si elevarono a più di sette mila metri, per ricerche scientifiche.

Gli aerostati hanno, d'ordinario, una figura che s'accosta alla sferica; l'involuppo è formato con liste fusiformi di taffetà gommato, rafforzato esteriormente da una rete a strette e robuste maglie, la quale, inferiormente, sorregge la navicella in cui sta l'areonauta.

di gas idrogeno, oppure di gas illuminante, sicchè però offra un volume che sia appena la metà di quello che esso presenta quand'è completamente gonfio; affinchè esso abbia modo di distendersi man mano che sale in istrati di minor pressione, senza pericolo di squarciarsi per soverchia distensione.

Ciò posto, si può calcolare, approssimativamente, il raggio r da darsi ad un pallone, perchè valga a sollevare il peso P della navicella, delle persone e di ciò che vi si pone, oltre al peso dell'involuppo e del gas contenuto, svolgendosi dapprima solo per metà del volume. Per l'equilibrio s'avrà:

$$(85) \quad \frac{4}{3}\pi r^3 (d - d') = 2(P + 4\pi r^2 p),$$

posto d e d' rispettivamente il peso dell'unità di volume dell'aria esterna e del gas interno, e p il peso dell'unità di superficie dell'involuppo in un colla rete. Però, se P sarà minore, oppure r maggiore dei corrispondenti valori che soddisfano a quest'equazione, il pallone si muoverà in ascesa, e la velocità di salita si manterrà sensibilmente costante sino a che esso non sarà al tutto gonfio, poichè rimarrà costante la forza ascensiva di esso, compensandosi, giusta la legge di Boyle, la diminuzione nella densità e pressione dell'aria esterna coll'aumento nel volume del gas interno. Il gas illuminante è molto meno costoso dell'idrogeno, ma richiede palloni più voluminosi, avendo una densità circa otto volte maggiore di quella di quest'ultimo. D'altra parte col comun metodo di svolgimento dell'idrogeno per via umida, questo gas riesce molto meno leggero del normale, contenendo molto vapor acqueo.

Per discender poi, l'aeronauta o dispone d'una valvola dalla quale può lasciar sfogare una parte del gas interno, oppure d'un *paracadute*.

Quest'è un grande ombrello, che, staccandosi dal pallone e spiegandosi, regge con opportune funi la navicella, rallentandone il moto di caduta.

Peso specifico e velocità molecolare dei gas.

§ 120. La legge di Boyle può servire a determinare con approssimazione il peso specifico (§ 57) dei gas, riferendolo a quello dell'aria, che si assume per unità: quantunque non sia possibile di vuotare completamente i recipienti ne' quali sono essi contenuti. Devonsi però prendere tanto codesti gas, quanto l'aria, perfettamente spogli di umidità, e nelle stesse condizioni di pressione e di temperatura.

Perciò il *peso specifico relativo* d'un dato gas corrisponde al rapporto sussistente fra il peso assoluto e reale d'un determinato volume di esso e l'analogo peso d'un egual volume d'aria secca, presi l'uno e l'altra alla temperatura 0° ed alla pressione di un'atmosfera.

E qui, più che per i liquidi, importa tener calcolo della pressione esercitata dall'aria ambiente su la superficie dei recipienti, non poco voluminosi, che contengono i gas sottoposti a prova; la qual pressione varia continuamente, variando ad ogni istante nell'aria esterna e la pressione e la temperatura e l'umidore e la composizione, specialmente riguardo alla quantità dell'acido carbonico.

Devesi a Regnault un metodo semplice ed ingegnoso, col quale si tolgono di mezzo molte tra le influenze perturbatrici in questa delicata ricerca. Invece di adoperare un pallone solo, in cui successivamente si introduce, ora aria secca ed ora il gas, e ciascuno con due differenti tensioni, per pesarli man mano, immaginò di sospendere agli estremi del flagello d'una squisita bilancia due palloni, di egual volume e formati con vetro d'egual natura. In tal modo

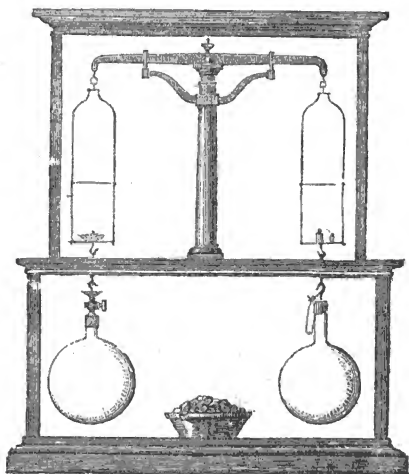


Fig. 8'.

essendo per essi eguali la dilatabilità termica e l'igroscopicità, accade che, ridotta una volta la bilancia all'equilibrio, coll'aggiunta di opportuni pesi su l'uno dei gusci, essa vi si manterrà a lungo. Infatti ogni variazione di temperatura, di pressione o di umidità dell'aria, farà bensì variare il volume dei palloni e la grandezza della pressione che ciascuno risente su la propria superficie per l'ambiente; ma codeste variazioni riesciranno eguali da ambe le parti.

In tal condizione di cose si potrà dedurre il peso specifico p d'un gas, mercè la :

$$(86) \quad p = \frac{p'}{p''} \cdot \frac{b'' - b'''}{b - b'},$$

la quale facilmente si deduce dalla legge di Boyle, posto p' la differenza nel peso apparente del pallone quando contiene codesto gas or colla tensione b ed or colla tensione b' , e posto p'' l'analogha differenza quando nel pallone vi sia aria secca, successivamente colle tensioni b'' e b''' , ritenuto però $b > b'$ e $b'' > b'''$. Inoltre ognuna di queste tensioni dev'essere determinata mentre il pallone, involto dal ghiaccio, è mantenuto a 0° .

Ma i processi per codesta determinazione si comprenderanno meglio quando si discorrerà delle leggi di dilatabilità e di comprimibilità dei gas. Per ora varrà citare i valori dei pesi specifici d'alcuni gas che più spesso occorrono nelle sperienze di fisica, giusta le determinazioni di Regnault.

<i>Gas</i>		<i>Vapori di</i>	
Aria atmosferica	1,0000	Acqua	0,622
Azoto	0,9714	Acido acetico	2,770
Ossigeno	1,1056	Alcole etilico	1,589
Idrogeno	0,0693	» metilico	1,120
Cloro	2,4400	Benzina	2,694
Acido carbonico	1,5290	Bromo	5,390
» cloridrico	1,2474	Cloroformio	5,300
» solfidrico	1,1912	Etere acetico	3,040
» solforoso	2,2470	» cloridrico	2,235
Protocarburo d'idrogeno	0,5527	» etilico	2,556
Bicarburo »	0,9672	Iodio	8,716
Ossido di carbonio	0,9674	Mercurio	6,976
Protossido d'azoto	1,5250	Solfo	6,617
Biossido »	1,0390	Solfuro di carbonio	2,633
Gas ammoniaco	0,5894	Terebenteno	4,680

Volendosi poi il peso assoluto p di un litro di codesti fluidi aeriformi a qualsiasi temperatura t e pressione b , in base al predetto peso specifico, che indicheremo con d , si avrà :

$$(87) \quad p = 1,29274 \frac{d}{1 + \delta t} \cdot \frac{b}{760} (1 - 0,0026 \cos 2 \lambda) \left(1 - \frac{2a}{r} \right),$$

ritenuto con Regnault che un litro d'aria secca a 0° , a 760 millim.

di pressione, a livello del mare ed alla latitudine di 45^0 , sia di grammi 1,29274, posto δ il coefficiente di dilatazione termica del gas, λ ed α la latitudine ed altitudine del luogo, ed r il raggio terrestre corrispondente alla data latitudine (§ 66).

§ 121*. Il fatto che due gas di diversa natura, ad una data temperatura, possono esercitare un'egual pressione, sebbene la loro densità sia differente, merita una speciale considerazione. Pei liquidi s'è veduto (§ 58) che la pressione in un dato strato ha attinenza colla profondità di esso rispetto alla superficie libera e colla densità relativa del liquido; e s'è poi riconosciuto (§ 63) che le pressioni esercitate dai liquidi dipendono dalla loro forza viva, corrispondente alla velocità acquistata per gravità dalle loro molecole, percorrendo lo spazio che le separa dalla detta superficie libera. D'altra parte, per un gas di data natura, abbiám veduto (§ 92) variare la pressione prossimamente nella ragione stessa della sua densità. Qui invece, trovandosi eguali le pressioni per gas di densità diversa, e volendosi supporre che ancor per essi le pressioni siano dipendenti da un impeto proprio delle loro molecole, come già ne citammo indizii (§ 86), si dovrà concludere che le molecole de' varii gas aver debbano velocità differenti, cosicchè l'influenza di queste compensi l'influenza della varia densità.

Abbiansi due diversi gas ad egual forza espansiva, e siano m ed m' le masse dell'unità di volume di ciascun d'essi a 0^0 e ad un'atmosfera di pressione; v e v' le velocità di traslazione o di moto vibratorio delle loro molecole. Si supponga ciascun gas contenuto in un vaso, di figura cubica e della capacità di un metro cubo, e s'immagini distinta la massa in tre porzioni, ciascuna delle quali vada alternativamente vibrando fra due facce parallele del vaso. In tal supposto le impulsioni prodotte su ciascuna faccia corrisponderanno alla forza viva di un terzo della totale massa; epperò, dovendo essere eguali le impulsioni esercitate da ognuno dei due gas su l'unità di superficie, s'avrà:

$$(88) \quad \frac{m}{3} v^2 = \frac{m'}{3} v'^2,$$

ossia (57):

$$(89) \quad \frac{p}{3g} v^2 = \frac{p'}{3g} v'^2$$

posti p e p' i pesi assoluti dell'unità di volume di tali gas nelle predette condizioni. Ed avendosi poi $p = \pi d$ e $p' = \pi d'$, ove d e d' siano le densità relative dei due gas riferite a quelle d'aria, e π il peso assoluto dell'unità di volume di questa nelle suddette condizioni, s'avrà pure:

$$(90) \quad v^2 : v'^2 = d' : d,$$

cioè le velocità molecolari di due diversi gas, i quali ad una stessa temperatura spiegano eguali tensioni od eguali pressioni, saranno inversamente proporzionali alle radici quadrate delle loro densità relative.

E poichè (§ 55):

$$v^2 = 2 g s,$$

s'avrà pure:

$$2s : 2s' = d' : d,$$

ossia le altezze, che aver dovrebbero due colonne degli stessi gas per esercitare alla loro base una stessa pressione col loro peso, supposti a densità costante, corrispondono al doppio delle altezze che aver dovrebbero le colonne medesime, affinchè acquistassero cadendo le rispettive velocità molecolari v e v' .

Le premesse eguaglianze valgono non solo a farci conoscere i rapporti delle velocità molecolari de' vari gas, ma ci porgono anco il valore della effettiva velocità per le molecole d'ognuno di essi alla temperatura 0^0 . Sia P la pressione da esercitarsi su l'unità di superficie per equilibrare la forza espansiva d'un dato gas, s'avrà :

$$(91) \quad \frac{\pi d}{3g} v^2 = P.$$

Ora, a 0^0 , a mill. 760 di pressione ed a 45^0 di latit., essendo per un metro cubo d'aria $\pi = \text{chg. } 1,29274$ (§ 95), e su l'area d'un metro quadrato essendo $P = \text{chg. } 10332,9$ (§ 107), s'avrà :

$$(92) \quad v = 484^m, 9 \sqrt{\frac{1}{d}},$$

ritenuto $g = 9^m, 8059$ (§ 65). Da questa, dietro i suesposti valori delle densità relative dei gas e vapori, si traggono i seguenti valori delle rispettive loro velocità molecolari:

Idrogeno met.	1842,5	Acido carbonico . . met.	392,1
Protocarburo d'idr. »	652,2	Vapor d'alcole etil. . »	384,7
Gas ammoniaco . . »	631,6	Acido solforoso . . »	323,5
Vapor d'acqua . . »	614,8	Cloro »	309,8
Ossido di carbonio . »	493,0	Vapore d'etere etil. . »	303,8
Bicarburo d'idr. . . »	493,0	» di solf. di car. »	298,8
Azoto »	492,0	» di benzina . . »	295,4
Aria atmosferica . . »	484,9	» bromo . . »	234,3
Biossido d'azoto . . »	475,8	» terebenteno »	224,2
Ossigeno »	461,2	» cloroformio »	210,6
Acido solfidrico . . »	447,3	» solfo . . »	188,5
Acido cloridrico . . »	432,1	» mercurio . . »	183,6
Protossido d'azoto . »	392,7	» iodio . . »	164,2

Le sperienze, che citeremo altrove, su la diffusività relativa dei gas, confermano non solo questo loro stato dinamico, ma ancora i rapporti delle loro velocità molecolari, giusta i valori qui calcolati.

Le (88) e (89) significano pure che, per un gas di data natura, a temperatura costante, la forza espansiva varierà col mutare del suo volume, in quanto con ciò muta la massa relativa od il peso specifico assoluto dello stesso, che rappresenta uno dei fattori della forza viva molecolare. Talchè, se la legge di Boyle (§ 116) si verificasse sempre a rigore, la forza espansiva d'un gas, a temperatura costante, variar dovrebbe proporzionalmente alla sua densità relativa.

Ma vedremo che le stesse divergenze da questa legge, riconosciute sperimentalmente per molti gas, nel mentre manifestano un'azione aggregatrice pur esercitantesi tra le loro molecole, fanno chiara prova dello stato dinamico di queste.

E se poi, come diremo innanzi, la tensione di un gas aumenta col crescere della temperatura, pur rimanendo costante il volume suo, dovremo inferirne che con ciò aumenti la velocità termica delle sue molecole, vale a dire l'altro fattore della sua forza viva.

Insomma tanto nei fluidi liquidi, quanto nei fluidi aeriformi la pressione esercitata sui corpi da essi toccati è manifestazione dello stato dinamico delle loro molecole (§ 86).

Macchine pneumatiche.

§ 122. La macchina pneumatica (da πνεύμα spirito) a rarefazione fu inventata da Ottone Guericke nel 1650; e fu in seguito perfezionata da Boyle, Hawksbee, s'Gravesande, Musschenbroek, Dumotier e Belli. Sovra una stabile base sono impiantati due robusti corpi di tromba in cristallo ed un piatto. È questo un disco di vetro a superficie ben pulita e piana, sul quale si adagia, a perfetto combaciamento, il labbro smerigliato d'una campana di vetro: nel centro del piatto sbocca un tubo, che, piegandosi di sotto al piatto stesso e di poi biforcandosi, va a comunicare colla parte inferiore dei due corpi di tromba. Nel cavo di questi cilindri scorre un embolo, formato da una pila di dischi di cuoio, serrati fra loro da due dischi metallici, e mantenuti morbidi nel loro contorno da uno strato d'olio per modo che, mentre scorrono entro il cilindro, non lascino passare aria tra le superficie a contatto. Ciascun embolo è mosso da un'asta dentata che ingrana in una rotella, la quale si fa girare alternativamente ne' due opposti sensi col mezzo di una manovella: e ciascun embolo è attraversato, a dolce sfregamento, da un'asticella portante alla base un tronco di cono, il quale chiude l'apertura di comunicazione fra il cilindro ed il recipiente quando l'embolo si abbassa, e la la-

scia poi aperta quando questo si innalza. Però l'asticina viene allora impedita d'elevarsi di troppo da un rigonfiamento anulare che essa porta superiormente, il quale vien fermato dal disco superiore del corpo di tromba. Inoltre nella grossezza di ciascun embolo evvi una cavità cilindrica, chiusa inferiormente da una valvola conica

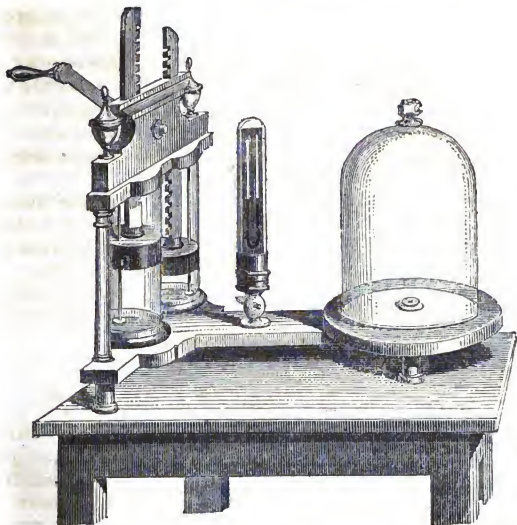


Fig. 81.

coadiuvata da un [debole elastro, la quale pure si apre dal basso all'insù. Nel tubo di comunicazione fra il piatto ed i cilindri vi è una chiave a tre disposizioni, per modo che ora chiude ed ora lascia aperta la detta comunicazione, ed altra volta permette l'ingresso dell'aria nel canale stesso, attraverso un foro chiuso da tappo conico. Infine questo canale comunica con una canna manometrica, o provino (§ 92), chiusa in apposita campanella, che serve a dare la misura della forza espansiva del gas rimasto nel recipiente ad ogni atto dell'operazione.

Per intendere il modo di operare di questa macchina, supponiamó, per semplicità, che essa abbia un sol corpo di tromba, e che da principio sia in questa la base dell'embolo a contatto del fondo del

cilindro, stando però aperto il canale di comunicazione fra il recipiente della macchina, la cui capacità sia r , e la base del corpo di tromba, e poniamo altresì essere b la forza espansiva e d la densità del gas rinchiuso nel recipiente. Si incominci a sollevare l'embolo; esso trarrà con sé l'asticina che apre la valvola inferiore, nel mentre la pressione atmosferica, che supporremo essere del pari espressa da b , manterrà chiusa la valvola posta nell'embolo stesso, e che per brevità diremo valvola superiore. Però, tosto che la valvola inferiore si sarà aperta, il gas che era nel canale di comunicazione, per la sua tensione, si diffonderà nello spazio cilindrico che la base dell'embolo, coll'elevarsi, va generando al dissopra della base del cilindro; e così continuerà il gas del recipiente a diffondersi anche in codesto spazio. Poniamo sia c la capacità del corpo di tromba, quando l'embolo è giunto al più alto punto della sua corsa ascendente: talchè, facendo astrazione dalla capacità del detto canale, la quale è sempre piccola, il volume del gas dianzi contenuto nel recipiente sarà diventato $r + c$; epperò la densità d' del gas in tal condizione sarà data, giusta la legge di Boyle, dalla:

$$(93) \quad d' = d \frac{r}{r + c};$$

e similmente la tensione b' del gas stesso sarà:

$$b' = b \frac{r}{r + c},$$

sempre ritenuta la legge di Boyle.

A tal punto si immagini iniziato il moto discensivo dell'embolo stesso; di subito l'asticina mossa da questo chiuderà la valvola inferiore, cosicchè il gas rimasto nel recipiente vi si manterrà nello stato di densità indicato dalla (73), nel mentre il gas che si troverà chiuso nel corpo di tromba al disotto dell'embolo, verrà comprimendosi man mano che esso discende, aumentando proporzionalmente la sua tensione, e giungerà a tal punto da superare la somma della pressione atmosferica e di quella dovuta al peso ed all'elastro della valvola superiore. A questo punto una tal valvola si aprirà per dare sfogo al gas condensato, e si manterrà aperta durante il resto della corsa discensiva dell'embolo. Pertanto, con codesto moto di discesa dell'embolo, non si sarà modificata la densità, nè la tensione del gas che è nel recipiente, e soltanto si sarà liberato il corpo di tromba dal gas in esso penetrato.

Ora, ricominciando il moto ascensivo, s'aprirà ancora la valvola inferiore, si chiuderà la superiore ed il gas del recipiente si diffonderà nel cilindro, per le ragioni dette sopra; tantochè, giunto per

la seconda volta al sommo della sua corsa, il volume di tal gas sarà diventato ancora $r+c$, e quindi la densità di esso d'' sarà data dalla proporzione:

$$d'': d = r : r+c,$$

dalla quale, giovandosi anche della (73), si avrà:

$$(94) \quad d'' = d \left(\frac{r}{r+c} \right)^2.$$

Col secondo moto discensivo dell'embolo si vuoterà ancora il cilindro del gas ultimamente penetratovi; col terzo moto di ascesa dell'embolo il gas rimasto nel recipiente assumerà di nuovo il volume $r+c$, e la sua densità d''' sarà data dalla:

$$d''' = d \left(\frac{r}{r+c} \right)^3,$$

giovandosi della (94). Laonde, in generale, dopo un numero n di corse ascensive dell'embolo, la densità, d^n cui si ridurrà il gas residuo nel recipiente, sarà data dalla:

$$(95) \quad d^n = d \left(\frac{r}{r+c} \right)^n.$$

E similmente la tensione b^n del gas residuo nel recipiente dopo n corse ascensive dell'embolo, sarà:

$$(96) \quad b^n = b \left(\frac{r}{r+c} \right)^n.$$

Dalle cose sinora esposte si scorge: che *la densità del gas successivamente residuo nel recipiente va diminuendo in progressione geometrica, mentre va crescendo in progressione aritmetica il numero delle corse ascensive dell'embolo, e che nello stesso rapporto andrà decrescendo la tensione del detto gas.*

Dalle precedenti equazioni (95) e (96) si deduce inoltre: che non è possibile con codesta macchina estrarre tutto quanto il gas esistente dapprima nel recipiente; che il grado di rarefazione per un dato numero di corse dell'embolo crescerà coll'aumentare del rapporto $r+c:r$, e quindi colla capacità del cilindro, e che la rarefazione del gas troverà un limite, quando quello che entra nel cilindro, durante il moto d'ascesa, è già diradato a tal segno che, pur comprimendolo colla successiva corsa di discesa, non acquisterà tal forza espansiva da aprire la valvola superiore, vincendo la esterna pressione.

Si comprende altresì che, ad elevare l'embolo, si dovrà esercitare uno sforzo mano mano maggiore coll'aumentare del numero delle sue corse, e proporzionato in ogni caso alla differenza fra la tensione dell'aria esterna e quella del gas interno, ed insieme all'area della base dell'embolo. Epperò se, come si disse poc'anzi, per accelerare la rarefazione, giova aumentare la base dell'embolo, per quest'altro riguardo si avrebbe un notevole scapito. Ma questa difficoltà veune felicemente risolta colla applicazione de' due corpi di tromba, entrambi comunicanti col recipiente, ne' quali gli emboli hanno sempre movimenti opposti. In tal modo, si ha maggior prestezza nella rarefazione, poichè la si continua con un cilindro mentre per l'altro si compie la corsa discensiva dell'embolo: inoltre si fa cospirare l'eccesso della pressione esterna, nell'atto che l'un embolo discende, per attenuare la resistenza che l'altro incontra nell'ascendere per la stessa eccedenza della pressione esteriore.

Meglio ancora si ottiene di rendere meno sentite le alternate variazioni nello sforzo necessario a mantenere in moto la macchina nei vari atti del suo esercizio, sostituendo al moto alternativo di alzata e discesa dei due estremi di una leva di prima specie, applicata alla rotella che muove, come si disse sopra, le aste dentate degli emboli, un moto rotatorio continuo, sull'asse del quale si applichi una pesante ruota di ferraccio, che fa da volante o moderatore del moto stesso, come appare dal seguente modello di macchina, avente un sol corpo di tromba molto capace (fig. 82).

Si noti che le formole (95) e (96) varranno anche pel caso in cui la macchina sia provveduta di due corpi di tromba, purchè c esprima la somma delle capacità utili dei due cilindri, ed n esprima il numero delle corse complete d'entrambo gli emboli, ossia il numero delle rotazioni intere del volante.

A diminuire l'inconveniente succennato del limite nella rarefazione, dipendente dal non aprirsi della valvola superiore, quando la rarefazione sia già molto inoltrata, fu, nel 1827, immaginato dal prof. Belli di stabilire nel punto d'unione del canale di comunicazione coi corpi di tromba, alcuni secondarii condotti, governati da una chiave conica a diverse disposizioni, per modo che, ora rimane, come d'ordinario, libera la comunicazione del recipiente con entrambi i cilindri, ed ora, cioè quando la rarefazione è inoltrata, il recipiente comunica con un solo cilindro, il quale allora è posto in comunicazione colla base dell'altro. Poichè, nella corsa discensiva dell'embolo, il gas pervenuto nell'un cilindro, non potendo sfogarsi per la valvola superiore che riman ferma, si versa nell'altro cilindro, e quivi va adunandosi nei successivi maneggi, finchè il gas stesso vi raggiunge la forza espansiva bastevole ad aprire la valvola superiore di quell'embolo. Un

analogo artificio venne suggerito in Francia, alcuni anni dopo, cioè nel 1830, dal Babinet.



Fig. 82.

§ 123. Più limitati sono gli usi delle macchine pneumatiche a condensazione o compressione. Sono pure costituite da due corpi di tromba, da un recipiente robusto e da un canale di comunicazione; ma qui le valvole operano in senso opposto che nella macchina di rarefazione, cioè si aprono dall'alto al basso; sono anch'esse coniche e tenute chiuse da un piccolo elastro. Alzando l'embolo, la valvola inferiore rimane chiusa, s'apre la superiore per l'eccedenza della

pressione atmosferica, l'aria esterna penetra nel cilindro. Abbassando allora l'embolo, si chiude la valvola superiore e s'apre la inferiore, per concedere passaggio all'aria compressa, che entra nel recipiente;

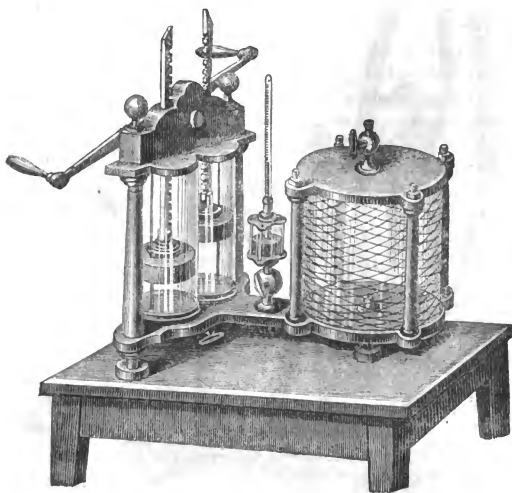


Fig. 83.

e così successivamente si vanno iniettando in questo nuove quantità d'aria, crescendo con ciò la densità e la tensione dell'aria rinchiusa.

Similmente si potrà condensare nel recipiente qualsiasi gas, che si porrà in comunicazione colla valvola d'accesso.

Delle trombe.

§ 124. Le cose esposte sulla pressione atmosferica servono anche alla intelligenza del modo di operare di alcune macchine di comune uso, e segnatamente delle trombe, del sifone e di alcune fontane.

Diconsi *trombe* le macchine che servono a sollevare l'acqua: sono di varie sorta, chiamate aspiranti, prementi e composte.

La *tromba aspirante* è costituita: da un tubo d'aspirazione aperto inferiormente, ove pesca nel serbatoio, dal quale si vuole attingere acqua, e superiormente sbocca nel fondo d'un corpo di tromba, in

corrispondenza ad una valvola che s'apre dal basso all'alto: l'embolo che scorre entro questo corpo di tromba è pure munito d'una valvola, aprentesi di basso in su. Supposto l'embolo al fondo della corsa, appena lo si solleverà, restando chiusa la sua valvola per la pressione atmosferica, tenderà a farsi il vuoto al disotto di esso, quindi l'elasticità dell'aria contenuta nel tubo d'aspirazione aprirà la valvola inferiore per diffondersi nella camera del cilindro, intanto che, per la diminuita pressione, il liquido, che è nel tubo, sarà sospinto a salire dalla eccedenza della pressione atmosferica, che ancor libera si esercita sul liquido esterno al tubo. Immaginando ora che l'embolo venga mosso all'ingìù, si chiuderà tosto la valvola inferiore e l'aria dianzi entrata nel cilindro, comprimendosi gradatamente, giungerà ad aprire la valvola superiore ed a sfogarsi nell'atmosfera. Quindi, con un secondo movimento ascensivo dell'embolo, sempre chiudendosi la valvola inferiore, l'aria e l'acqua penetrante nel cilindro passeranno al disopra dell'embolo, la cui valvola è mantenuta aperta dalla reazione alla compressione di questi fluidi. Giunte le cose a questo stato, si scorge che ogni successivo moto di alzata dell'embolo compirà due effetti, l'uno analogo al precedente di aspirare l'acqua nel tubo e nel fondo del cilindro, l'altro di sollevare il liquido già spintosi sopra all'embolo, fino a che esso si verterà per un tubo di scarico, praticato nell'alto dello stesso corpo di tromba. Invece, ad ogni moto di discesa, si otterrà soltanto di far passare superiormente all'embolo il liquido già entrato nella camera inferiore. Ora è facile intendere che l'accennato moto di salita dell'acqua non potrà continuare utilmente, ove la pressione esercitata dall'atmosfera su l'acqua del serbatoio non sia maggiore della pressione che l'acqua entro il tubo esercita dall'alto al basso, pel proprio peso, nell'altèzza compresa tra il livello esterno e la base dell'embolo salito al sommo della sua corsa.

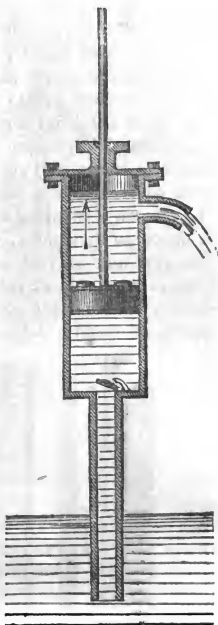


Fig. 84.

Da questa dichiarazione del modo d'agire d'una tromba aspirante si

rileva facilmente: 1.^o che essa rimarrebbe inattiva, ove non fosse la pressione atmosferica, e così appunto accade per un modello di sif-fatta tromba posta nel vuoto pneumatico; 2.^o che qui si ha una chiara conferma del principio sostenuto al § 64, che cioè una pressione cre-duta statica, esercitata da un liquido, è sempre effetto di una forza viva capace di trasformarsi in lavoro. In primo luogo la detta pres-sione deve corrispondere ad ogni istante ad un moto attuale nelle parti stesse del liquido, poichè, non appena si muove in ascesa l'em-bolo, il liquido stesso manifesta un distinto moto di salita, il quale non può credersi creato allora. Inoltre si scorge che codesta pres-sione nelle parti del liquido è primamente provocata dalle effettive ed incessanti impulsioni fatte dall'aria atmosferica normalmente alla superficie libera dell'acqua nel serbatoio, trasmesse poi al liquido in-terno ed esercitanti anche dal basso all'insù verticalmente.

La *tromba premente* è costituita da un corpo di tromba, alla cui base evvi una valvola aprentesi di basso in su, e da un tubo di ele-vazione, comunicante col cilindro appena al disopra della base, e

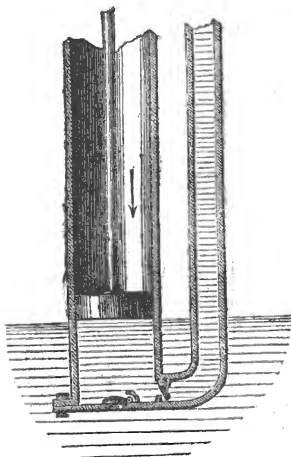


Fig. 85.

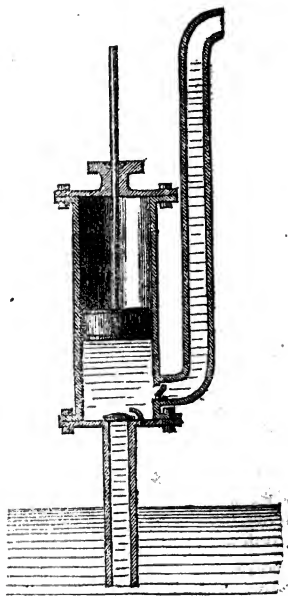


Fig. 86.

munito pure al suo imbocco di una valvola, che s'apre dall'interno all'esterno del cilindro stesso: questo poi pesca colla sua base nel

liquido da elevarsi, così che il livello di esso sorpassi quello delle predette due valvole. Ora, sollevando l'embolo, il liquido apre la valvola inferiore del cilindro ed entra in questa. Poi, abbassando l'embolo, si chiude tosto per compressione la predetta valvola, e s'apre l'altra, per dare sfogo all'aria entrata verso il tubo di salita. E così successivamente (fig. 86).

In questa forma di tromba non vi è limite al salire dell'acqua, se non in quanto va aumentando lo sforzo da esercitare nel moto di abbassamento dell'embolo, per vincere la pressione esercitata dal liquido compreso fra la base dell'embolo ed il livello di scarico.

La *tromba composta* non è altro che la tromba premente ora descritta, coll'aggiunta del tubo di aspirazione della precedente; sicché il corpo di tromba può stare molto al disopra del livello dell'acqua da elevarsi. Il giuoco delle valvole è identico a quello ora esposto per la tromba premente. Col salire dell'embolo, l'acqua sale pel tubo d'aspirazione, e collo scendere di esso il liquido è spinto su pel tubo di elevazione, e sgorga poi dal tubo di scarica (fig. 87). Perciò, se questi due tubi avranno la stessa dimensione, l'efflusso sarà discontinuo. Piacendo di renderlo continuo, si può diminuire la sezione del pertugio di scarico, oppure applicare al tubo di elevazione un serbatoio d'aria, la quale, comprimendosi, mentre l'acqua vi affluisce, opera poi colla sua pressione quando l'embolo s'innalza.

Sifone e fontane.

§ 125. Anche il sifone è una macchina la quale si rende operativa grazie alla pressione atmosferica. Un *sifone* consiste in un tubo piegato ad U, i cui rami hanno diversa lunghezza ed aperto ai suoi estremi: esso è comunemente adoperato a sollevare un liquido, onde farlo passare da uno ad altro vaso, senza inclinare il primo, oppure per separare l'uno dall'altro due liquidi sovrapposti entro uno stesso vaso. È necessario riempire dapprima tutto il vano del sifone col liquido da travasare, e, tenendone chiuse le aperture, capovolgerlo e portare l'estremo del ramo corto a pescare nel liquido da sollevare. Allora, lasciate libere entrambe le aperture del sifone, il liquido in cui pesca il detto estremo, salendo su per quel ramo, continuerà ad effluire dal ramo lungo, sinché il livello di codesto liquido si manterrà superiore a quello che il liquido stesso assumerà passando nell'altro vaso, in cui supporremo pescare il ramo lungo del sifone.

Siano a ed a' le distanze del piano orizzontale tangente il punto culminante della colonna liquida contenuta nel sifone per una parte dal livello del detto liquido nel vaso da vuotare, e per l'altra dalla apertura del ramo più lungo, oppure dal livello del liquido nel vaso

in cui questo ramo va a pescare; sia d il peso specifico relativo del liquido stesso, e sia p la pressione atmosferica su l'unità di superficie del liquido, misurata dall'altezza d'una colonna d'acqua ad essa equivalente. È facile intendere che la pressione sollecitante il liquido a salire su pel ramo corto sarà $p - ad$, e sarà $p - a'd$ la pres-

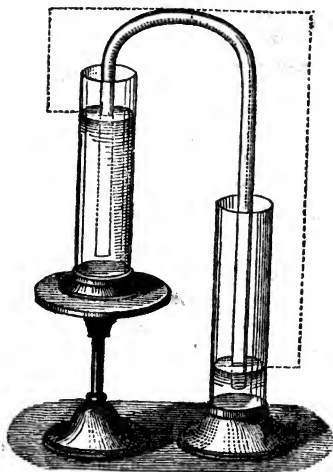


Fig. 87.

sione che opera sul liquido affluente dal ramo lungo per sospingerlo verso l'interno di esso: epperò la colonna liquida contenuta nel sifone obbedirà alla risultante di codeste due pressioni, la quale corrisponderà alla loro differenza, operando esse in opposta direzione; cioè tal forza sollecitante sarà espressa da:

$$(97) \quad p - ad - (p - a'd)$$

ossia da:

$$(a' - a) d,$$

ed opererà nel senso di far scorrere il liquido dal ramo corto al lungo, finchè sarà $a' > a$, e cesserà quando si rendesse $a' = a$. Anche la velocità dell'efflusso sarà proporzionale alla radice quadrata della differenza $a' - a$.

Pertanto la forza motrice principale è per questa macchina la

pressione atmosferica, poichè senza di questa, secondo la (97), non vi deve esser moto di salita nel liquido, allorquando fosse $ad > p$. Ed in fatto, disponendo sotto una campana pneumatica un modello di sifone, convenientemente preparato ed operativo, questo diventerà inattivo col rarefarvi di molto l'aria.

Ancor questa macchina mette in evidenza che, pur ne' fluidi liquidi, la pressione è sempre la manifestazione e dipendenza di un moto attuale delle loro molecole. Poichè qui vediamo chiaramente, che il liquido già contenuto nel sifone si mette tosto in movimento, grazie alla detta risultante delle pressioni su di esso esercitantisì dalle due bande, non appena sian libere le aperture, e continua a salire su pel tubo altro liquido per la stessa condizione di cose. E di più, in ogni istante, la velocità v di codesto movimento è commisurata al valore corrispondente della quantità $a' - a$, giusta la relazione altrove (§ 84) riconosciuta per le pressioni di gravità, cioè:

$$v^2 = 2g (a' - a).$$

Pur qui dobbiamo ripetere: questo moto non potendosi crederè creato allora, deve preesistere nelle parti materiali che sono in conflitto di pressione tra loro, ossia e nelle molecole dell'aria premente ed in quelle del liquido che va elevandosi ed effluendo pel sifone.

§ 126. A questa stessa deduzione si giunge considerando il giuoco delle *fontane a pressione d'aria*. La più semplice è quella costituita da un recipiente a pareti robuste, contenente, nella parte inferiore e per circa la metà del suo cavo, acqua, entro la quale pesca una canna aperta nel fondo e superiormente terminante con una chiave ed un tubo conico di efflusso. In essa si inietta dapprima, mercè una siringa, quanto più si può di aria nel restante cavo del recipiente; cosicchè questa vi eserciti una pressione, che supporremo espressa da p in più su quella dell'esterna atmosfera. Allora, aprendo la chiave, il liquido interno zampillerà con impeto, levandosi ad un'altezza che corrisponderebbe a p , se non fosse la resistenza d'inerzia dell'aria esterna, qualora p esprima l'altezza della colonna d'acqua la cui pressione alla base misura la tensione dell'aria rinchiusa, analogamente a quanto si è veduto al § 84, operando direttamente sul liquido con una pressione meccanica (fig. 88). Ed ecco ancora che all'aprir della chiave, si mette in evidenza un moto il quale non poteva non sussistere nelle parti dei fluidi (liquido ed aeriforme) contenuti nel recipiente anche quando la chiave, stando chiusa, si manifestava soltanto sotto forma di pressione.

Analogo è il giuoco della *fontana di Erone*, benchè assai più complessa nella formà. Sono tre vasi sovrapposti e comunicanti tra loro per mezzo di tubi. Il superiore è aperto a guisa di bacinella; gli

altri due sono chiusi; il fondo del primo comunica col fondo del vaso ultimo mediante un tubo aperto agli estremi; un altro tubo simile stabilisce comunicazione tra le parti superiori del vaso ultimo e del medio, e finalmente un terzo tubo fa comunicare il fondo del

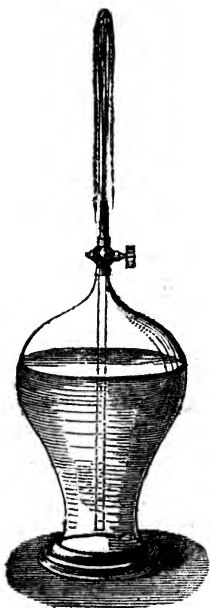


Fig. 88.

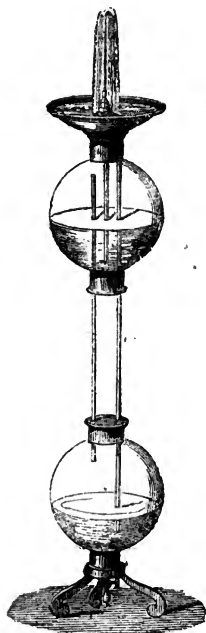


Fig. 89.

vaso medio colla parte superiore del più alto, ove termina con una chiave ed un tubo conico di efflusso, come nella predetta fontana semplice. Poniamo che dapprima sia chiusa codesta chiave, che il vaso medio contenga acqua quasi ad empirlo, e che il vaso inferiore contenga aria alla stessa pressione dell'esterna, per opera del primo dei detti tubi. Versando allora acqua nel vaso superiore, questa precipiterà in parte nel vaso ultimo, dove farà passare una porzione dell'aria preesistente nel vaso medio, condensandovi quella che già vi era, e così continuerà, in relazione all'altezza del ripetuto primo

tubo, a crescere la pressione sul liquido contenuto ne' due vasi chiusi sino ad eguagliare la pressione esercitata dal liquido contenuto nel tubo stesso su quello che è nel vaso ultimo. Aprendo allora la chiave del terzo tubo, zampillerà da questo il liquido che è nel vaso medio, ad un'altezza all'incirca corrispondente alla differenza di livello dell'acqua ne' due vasi estremi.

Epperò qui pure codesto moto rivela essere la detta pressione dell'acqua che è nel tubo manifestazione della forza viva acquistata per gravità dal liquido stesso.

CAPO VI.

COERENZA DEI CORPI

§ 127. Dacchè ogni corpo va guardato fisicamente quale un sistema di molecole, tenute tra lor discoste da alcuni moti ad esse proprii, e collegate da mutue azioni aggregative (§ 5), e poichè si denomina *coerenza* la varia energia di queste azioni ne' singoli corpi (§ 6), importa anzitutto prendere in esame quelle proprietà de' corpi che più direttamente dipendono dalla loro coerenza. E prima diremo dei solidi, e del modo di loro naturale aggruppamento molecolare.

Forme regolari dei solidi.

§ 128. Quando uno di que' corpi, che nelle ordinarie condizioni di temperatura si tengono in istato solido, abbia le sue molecole ridotte allo stato fluido per opera di calore o di un solvente, e quando vengano di poi a scemare tra esse le rispettive distanze, diminuendosi lentamente e tranquillamente sia l'intensità del calore, sia la quantità del veicolo, le molecole stesse si aggrupperanno per modo da formare dati poliedri, ossia solidi terminati da facce piane, ed aventi particolari proprietà, che si denominano *cristalli*, perchè nel maggior numero dei casi sono consistenti e translucidi come il ghiaccio, che in greco si dice *κρυσταλλος*. E chiamasi *cristallizzazione* l'atto o l'operazione per cui le molecole d'un corpo s'aggregano, formando cristalli.

I cristalli sono prodotti tanto dalla natura quanto dall'arte.

Artificialmente si ottengono per diversi modi, cioè per fusione, per sublimazione e per soluzione; meritano pure rimarco il processo di Leblanc per *nutrire*, ossia per accrescere il volume dei cristalli già formati, ed i processi immaginati da Sénarmont, da Ebelmen, da Köhlmann e da Becquerel per avere de' minerali cristallizzati analoghi a quelli che si riscontrano nei filoni e nelle rocce.

Nei cristalli si chiamano *assi* le rette congiungenti i centri di due facce opposte, oppure i vertici di due angoli solidi opposti. Un corpo

cristallizzato, quand'è compito ed isolato, presenta alcune notevoli proprietà: le facce piane, dalle quali esso è limitato, sono parallele due a due, ossia a ciascuna ne corrisponde un'altra ad essa parallela; le diverse facce sono disposte simmetricamente, sia tutte insieme, sia per parti, rispetto ad un asse; tanto gli angoli solidi quanto gli spigoli diedri sono salienti e non mai rientranti; infine in alcune direzioni esso presenta certi piani di facile separazione, detti piani di *sfaldatura* o di *scheggiamento* (*clivage* de' Francesi), pei quali è dato dividerlo in più parti, ciascuna delle quali è un poliedro. Chiamasi però sfaldatura anche l'operazione con cui si ottiene la divisione dei cristalli secondo le loro naturali giunture, la quale può effettuarsi e con mezzi meccanici e per via umida.

Quanto alla direzione rispettiva dei piani di sfaldatura vuolsi notare che nei singoli cristalli d'una data sostanza sono essi similmente disposti, formando angoli costanti fra loro e colle facce dei cristalli; e che se ve n'hanno in tre diverse direzioni, si può ritrarre un solido, detto di sfaldamento, il quale ha una forma costante, presentando una figura poliedrica simile, con angoli eguali tra le facce eguali, sia nei varii solidi tratti da un medesimo cristallo, sia in quelli ottenuti da diversi individui di una stessa specie minerale, quantunque questi abbiano figure esterne tra loro differenti. Nel qual caso si dicono figure *secondarie* quelle dei cristalli, e figura *primitiva* quella dei solidi di sfaldamento, dalla quale, per semplici costruzioni geometriche, è facile derivare le singole forme secondarie (*teoria dei decrementi*).

Le varie specie minerali cristalline si classificano sotto diversi *sistemi cristallini*, in ciascuno dei quali si raccolgono le differenti figure primitive che derivano da un simile sistema di assi, tenendosi conto delle rispettive inclinazioni e lunghezze di questi. Ecco, ad esempio, la prima partizione d'una delle moderne classazioni di minerali:

*Sistemi cristallini.**Figure tipiche corrispondenti.*

- | | | |
|--|---|-----------------------------------|
| 1.° Tre assi rettangolari e di egual lunghezza | } | Cubo. |
| 2.° Tre assi rettangolari, due soli eguali tra loro | | |
| 3.° Tre assi rettangolari, tutti diseguali | } | Prisma retto a base rettangolare. |
| 4.° Tre assi tra loro obliqui, ma di egual lunghezza | | |
| 5.° Tre assi tra loro obliqui, due soli eguali | } | Prisma esagonale regolare. |
| 6.° Tre assi tra loro obliqui, tutti diseguali | | |
| | | Prisma obliquo romboidale. |
| | | Prisma obliquo non simmetrico. |

Nella derivazione delle figure secondarie dalla primitiva in ciascuna specie si verifica la così detta *legge di simmetria*, per cui in ogni singolo cristallo le parti della medesima specie ricevono tutte una analoga modificazione, mentre le parti di specie differente si modificano isolatamente o diversamente. Spesse volte però s'incontra l'*emiedria*, cioè in una stessa forma gli angoli o gli spigoli fra loro corrispondenti si modificano solo per metà, producendo forme nelle quali esiste soltanto la metà delle facce che s'avrebbero nelle forme a modificazione completa; e perciò le prime si chiamano forme *emiedriche* e l'altre *omoedriche*, dicendosi poi *tetrartoedriche* le forme emiedricamente derivabili dalle emiedriche, aventi cioè solo un quarto delle facce della corrispondente forma omoedrica.

Tra le modificazioni si annoverano le troncature, le smozzature e gli spuntamenti, i cui effetti rispondono a quelli dei decrementi micro-cristallini in altezza, in larghezza e misti, posti su gli spigoli della forma primitiva, ed a quelli dei decrementi ordinarii ed intermediarii, posti su gli angoli della stessa forma. Accade una *troncatura* quando ad uno spigolo diedro o ad un angolo solido vien sostituita una faccetta piana; una *smussatura* (*biseau de' Francesi*) quando ad uno spigolo o ad una faccia si sostituiscono due faccette tra loro inclinate; ed uno *spuntamento* (*pointement*) quando ad un angolo solido se ne sostituisce un altro più ottuso, con un numero eguale o multiplo di facce.

In questi vari casi si dicono facce *dominanti* del cristallo quelle che appartengono alla figura primitiva, e facce *secondarie*, quelle prodotte dalle modificazioni. Quando poi le facce secondarie si estendono sino alla loro intersezione, danno luogo alle forme *derivate*, lo studio delle quali fa scorgere una legge di *proporzionalità degli assi*, che determina la posizione o la variabilità della inclinazione delle troncature, consentita dalla legge di simmetria. La si può così esprimere: gli assi delle forme derivate tengono con quelli della forma fondamentale i più semplici rapporti di 1 : 2 : 3, ecc., oppure di $\frac{1}{2} \cdot \frac{1}{3} \cdot \frac{1}{4}$, ecc.; ossia le faccette di modificazione, che esistono su gli elementi reali d'una forma fondamentale, sono così poste che, supponendole prolungate, taglierebbero gli assi di detta forma a distanze fra loro proporzionali, secondo gli accennati rapporti.

Alcune sostanze chimicamente identiche, cristallizzano sotto figure appartenenti a due o più sistemi differenti, onde si dicono *dimorfe* o *polimorfe*. E per converso son detti *isomorfi* quei corpi che essendo costituiti da materie differenti, cristallizzano sotto figure identiche, ossia simili quanto al numero ed alla figura delle facce ed eguali quanto alle rispettive misure degli angoli diedri e solidi. In generale

si osserva che i corpi inorganici, aventi una costituzione analoga quanto al numero dei componenti e dei rispettivi loro equivalenti chimici, presentano figure appartenenti ad un medesimo sistema cristallino. Sono importanti su questi riguardi le osservazioni di Mitscherlich.

Molte circostanze influiscono a far variare le figure secondarie de' cristalli d'una data sostanza; come, ad esempio, la quantità, qualità e temperatura del solvente, la postura del cristallo nell'atto di formarsi, la pressione, le materie commiste, il calore e l'acqua di cristallizzazione.

Il peso specifico d'una data sostanza cristallizzata varia secondo il volume e la figura dei singoli individui: in generale è maggiore ne' piccoli cristalli che ne' grandi, ed è maggiore in quelli regolarmente cristallizzati a fronte di quelli che non lo sono regolarmente, o che sono amorfi.

Dall'insieme dei fenomeni di cristallizzazione si deduce che *in un solido le molecole stanno aggregate non solo in quanto gravitano mutuamente tra loro*, come fanno le molecole d'un liquido non viscoso, le quali si sistemano sotto forma d'una goccia sferica (§ 84), *ma altresì in quanto tendono a disporsi le une rispetto alle altre in dati modi particolari*; ossia in un solido esse si sistemano tra loro con ispeciali inclinazioni fra le rette congiungenti i rispettivi centri di figura, il qual fatto suolsi indicare col nome di *forza d'orientazione molecolare*. Il che val quanto dire che la scambievole gravitazione delle molecole ha diversa intensità secondo la direzione delle rette congiungenti il centro d'una di esse coi centri dell'altre molecole a quella contigue.

Tenacità e durezza dei solidi.

§ 129. Ed ancora, in grazia di questa speciale costituzione, accade che *nei solidi la coerenza si manifesta con diversa intensità secondo i vari modi coi quali la si cimenta*; talchè si distinguono nei solidi diverse proprietà dipendenti dalla coerenza; cioè: la tenacità, la consistenza, la durezza, la saldezza e la rigidità, d'ognuna delle quali convien dire in particolare.

La *tenacità* accenna la resistenza opposta dai solidi alle forze che tendono a romperli, stirandoli dirittamente, senza torcerli nè piegarli. Per istituire un confronto fra la tenacità dei diversi corpi si tien conto del loro *limite di tenacità*, ossia si determina il massimo sforzo di trazione, cui ponno reggere senza rompersi, riferendolo alla unità di superficie della loro sezione trasversale. Comunemente per questa misura suolsi assumere il numero di chilogrammi che può

sostenere, innanzi di spezzarsi, un filo cilindrico d'un millimetro quadrato di sezione.

In una medesima sostanza però il limite di tenacità varia colla figura e dimensione della sezione, coi lavori meccanici e fisici che ne modificano la densità, colla durata ed intensità delle trazioni, e colla temperatura. In generale può dirsi che i corpi cilindrici resistono più dei prismatici, a pari sezione; i cilindri cavi più dei pieni, a pari quantità di materia per ogni unità di lunghezza; i fili e le verghe sottili più delle grosse, riferendo la tenacità alla unità di sezione. I lavori, che accrescono la densità e la rigidità, aumentano pure la tenacità, mentre il ricuocimento la diminuisce notabilmente nei metalli.

Ecco un quadro del limite di tenacità in diversi metalli, preparati in istato di purezza, e ridotti in fili colla filiera, secondo che sono incruditi dalla compressione, oppure ricotti:

<i>Incrudito</i>		<i>Ricotto</i>	<i>Incrudito</i>		<i>Ricotto</i>
Ferro . .	Chil. 68,3	50,3	Argento. Chil.	29,6	16,4
Rame . . . »	41,0	31,3	Oro . . . »	27,5	11,0
Platino . . . »	35,0	26,7	Cadmio . . »	6,5	4,8
Palladio . . . »	27,2	.. .	Stagno . . »	3,0	3,6
Zinco . . . »	15,8	14,4	Piombo . . »	2,4	2,0

La *consistenza* ne' corpi solidi corrisponde alla loro resistenza alla compressione. Dicesi poi *malleabilità* la loro arrendevolezza alla compressione provocata da percossa, e *duttilità* la loro arrendevolezza alla compressione operata da una forza continua, come accade col laminatoio e colla trafilatura. Però i corpi più malleabili non sono d'ordinario anco i più duttili, come si scorge dal seguente confronto.

Ordine dei metalli malleabili alle temperature ordinarie: piombo, stagno, oro, zinco, argento, rame, platino, ferro. Variando però notevolmente la temperatura, varia pure in molti di questi metalli la malleabilità. — Ordine dei metalli duttili al laminatoio: oro, argento, alluminio, rame, stagno, platino, piombo, zinco, ferro, niccolo. — Ordine dei metalli duttili alla filiera: oro, argento, platino, alluminio, ferro, rame, zinco, stagno, piombo.

Chiamasi *mollezza* l'attitudine che presentano alcuni solidi a lasciarsi modificare permanentemente nella figura da azioni comprimenti (a).

(a) È cosa molto notevole che molti metalli, secondo le sperienze di Tresca, sotto fortissime pressioni, manifestano tale arrendevolezza da modellarsi e scorrere quasi fossero corpi fluidi. Il Riccò trasse partito di questa proprietà per ritrarre le impronte delle parti molli de' vegetali colle loro più fine particolarità di forma, comprimendole fortemente fra due lamine metalliche.

La *durezza* in un solido esprime la resistenza all'intaccamento, ossia al lasciar istaccare alcune minute parti dalla sua superficie. Mohs stabilì la seguente scala per indicare i gradi di durezza nei minerali, dove ciascuno scalfisce i precedenti, ed è scalfito dai susseguenti: 1. talco lamelloso; 2. solfato di calce naturale cristallino (gesso); 3. carbonato di calce cristallino (spato islandico); 4. fluoruro di calcio (spato fluore); 5. fosfato di calce naturale (apatite); 6. feldspato lamelloso (specie ortoclaso); 7. quarzo ialino (cristallo di rocca); 8. topazio; 9. corindone e rubino; 10. diamante.

L'acciaio temperato ha una durezza compresa tra il 5 ed il 6; il vetro s'approssima al 5; il solfo al 2, ed il ghiaccio tra 1 ed 1,5.

Varia poi in un dato corpo la durezza colla velocità con cui è mosso il corpo intaccante, e coll'angolo che questo forma colla faccia del corpo intaccato. Nei corpi cristallizzati Frankenheim, sperimentando la durezza relativa nelle diverse facce d'un medesimo cristallo, nelle linee di diversa direzione su la stessa faccia, ed in opposti versi su la medesima linea, trovò la minima durezza nelle facce parallele alle giunture naturali del cristallo, nella linea perpendicolare all'intersezione di ciascuna faccia colla giuntura principale, e su questa nel verso secondo il quale il corpo solcante va dall'angolo diedro ottuso all'angolo diedro acuto della intersezione medesima (*a*).

Ecco alcuni dati su la durezza relativa dei metalli, presa per unità la durezza del ferraccio inglese:

Ferraccio inglese	1000	Rame	301	Oro	167
Acciaio	958	Alluminio	271	Cadmio	108
Ferro ladino	948	Argento	208	Stagno	27
Platino	375	Zinco	183	Piombo	16

La *saldezza* indica la resistenza dei solidi al rompersi per urto, percossa o compressione. Se i corpi nel franger si riduconsi in pezzi di qualche volume ed angolosi, diconsi *fragili*; che se riduconsi in minuti frammenti, diconsi *friabili*. — La *rigidità* od inflessibilità accenna la resistenza opposta dai solidi all'essere piegati.

(*a*) Su la durezza relativa ne' cristalli sonvi importanti ricerche di Lavizzari (1865), il quale s'adoperò con diverse vie per sottoporla ad esatta misura. Giunse a risultati importanti, determinando con ingegnoso processo la quantità relativa di gas acido carbonico svolgibile in opera di un acido dalle diverse facce d'uno stesso cristallo o da cristalli diversi: quelle che producono maggior quantità di gas in date condizioni sono le meno dure. Ad esempio, nei carbonati calcarei riconobbe esser minima la durezza nelle facce laterali pei cristalli del sistema romboidale, ed essere invece minima nelle facce di base per quelli del sistema prismatico retto.

Sonovi talune operazioni fisiche che modificano notevolmente le dette proprietà in alcuni solidi: tali sono: la temperatura, la ricottura e l'incrudimento. La *tempera* è quell'operazione, colla quale un corpo, scaldato prima ad alta temperie, è sottoposto ad un pronto raffreddamento: nell'acciaio è maggiore la tempra, quant'è più elevata la temperatura cui lo si adduce dapprima, e questa riesce crescente colla seguente scala di colori: rosso bruno, rosso ciliegia, rosso vivace, rosso roseo, rosso bianco. La *ricottura* è quell'operazione colla quale un solido, scaldato a un'elevata temperatura, vien fatto raffreddare di poi con lentezza: l'acciaio, già temperato, è ridotto a minor durezza e rigidità col ricuocerlo alle diverse temperature decrescenti indicate da quest'ordine di colori: azzurro violaceo, purpureo, giallo dorato, giallo pagliarino. L'*incrudimento* (*écrouissage* de' Francesi) accenna a quello stato di rigidità ed elasticità che acquistano i metalli col lavorarli al martello, al laminatoio ed alla filiera.

Elasticità nei solidi.

§ 130. Nei solidi si distinguono pure varie specie di elasticità (§ 7), secondo il modo con cui la si mette in opera; cioè con la distensione o trazione, con la percussione o compressione, colla flessione, e con la torsione.

Quando un corpo è stirato longitudinalmente da forze distraenti, operanti in contrario verso, si manifesta l'*elasticità all'allungamento* colla resistenza ad esse opposta, ovvero colla tendenza al ripigliare la pristina minor lunghezza allorché quelle si svigoriscono, oppur cessano d'agire. Per questo riguardo dicesi più elastico quel corpo che, sotto una data trazione, presenta un maggior allungamento. Per determinare con precisione gli allungamenti nei fili metallici si adopera il catetometro (§ 15), misurando prima e dopo un dato aumento di trazione la distanza verticale tra due punti, segnati su di essi, in prossimità dei rispettivi estremi.

L'*elasticità alla pressione* o percussione si collega con quella alla distensione, tranne che è provocata da una forza esterna operante in senso contrario: nell'un caso, collo scemare la distanza delle molecole, cresce più rapidamente l'intensità della repulsione elastica (*a*) che quella della gravitazione molecolare; laddove aumen-

(a) La forza repulsiva molecolare può interpretarsi mercè il principio d'inerzia (§ 17), ossia della conservazione dei moti intestini o termici de'corpi. Così, ad esempio, ammettendo nelle molecole o ne'gruppi molecolari costitutivi di un solido un moto rotatorio loro proprio, una esterna forza compri-

tando le distanze scema meno rapidamente la gravitazione che la repulsione.

Nell'atto della compressione il corpo elastico si riscalda, per ragioni che vedremo innanzi.

Ad esprimere poi la forza, con cui i diversi solidi resistono all'allungamento per trazione od all'accorciamento per compressione, si valgono alcuni fisici del *modulo d'elasticità*, cioè del peso necessario ad allungare per trazione o ad accorciare per compressione di una quantità eguale alla sua lunghezza primitiva una verga di una data sostanza, avente la sezione trasversale corrispondente all'unità superficiale. Ma poichè questo modulo esprime un peso ipotetico, che si computa col supporre gli allungamenti ed accorciamenti sempre proporzionali alle successive addizioni di peso, ancor dopo la rottura, val meglio assumere ciò che direttamente può dedursi dagli sperimenti, cioè il *coefficiente di elasticità*, chè così si chiama il peso necessario ad allungare o ad accorciare d'una diecimillesima parte della propria lunghezza una verga d'un millimetro quadrato di sezione.

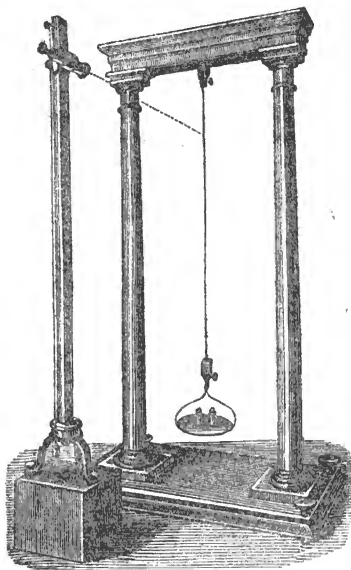


Fig. 90.

L'*elasticità alla flessione* si manifesta nelle lamine piane e nelle verghe diritte quando, fissate stabilmente ad un estremo, applicando all'altro estremo una forza diretta perpendicolarmente alla loro

mente ad esso applicata susciterà una resistenza all'avvicinamento mutuo delle sue parti, grazie all'azione centrifuga inerente allo stesso moto rotatorio. Ed inoltre la tendenza al rispettivo orientamento delle molecole medesime corrisponderebbe allora alla tendenza al ridursi paralleli de' loro assi di rotazione e concordi nel verso del loro movimento (§ 48).

lunghezza che le incurvi, tendono a raddrizzarsi; oppure quando su lamine o verghe curve s'agisce in modo da raddrizzarle od incurvarle maggiormente, ed esse tendono a riprendere la prima curvatura.

Nella meccanica astratta si dimostra che ove una lamina incastrata per un estremo sia orizzontale e gravata da un peso all'altro estremo, ed ove questo non la faccia scostare di molto dalla direzione orizzontale, la quantità f di cui essa si piegherà, ossia la sua flessione, sarà in ragione composta diretta del peso p applicato e del cubo della distanza l del punto d'applicazione di questo dal punto d'incastramento, ed inversa del quadrato della grossezza a della lamina e dell'area s della di lei sezione trasversale; cioè s'avrà:

$$(98) \quad f = 4 \frac{pl^3}{a^2se'} .$$

posto e' il modulo di elasticità della materia costituente la lamina.

L'*elasticità alla torsione* si manifesta ogniquale volta un filo od un sottil cilindro venga obbligato da una forza esteriore a ridurre in linee spirali le file di molecole, che prima eran disposte in linee parallele all'asse, in quanto che esse reagiscono contro la forza modificante e tendono a rimettersi nella primitiva disposizione rettilinea. Pertanto quest'elasticità, come quella alla flessione, è l'effetto non solo della tensione che si spiega tra le molecole avvicinate e della reazione che sorge tra le molecole discostate, ma benanco della tendenza delle molecole spostate ad orientarsi tra loro in particolar modo (§ 128).

Coulomb, mercè la bilancia di torsione, verificò le seguenti leggi, che si dimostrano nella meccanica astratta. Finchè la torsione è tale da non produrre un'alterazione permanente nel filo, la reazione alla torsione, ossia la forza di detorsione, per fili d'una data materia, riesce direttamente proporzionale all'angolo di torsione ed alla quarta potenza del rispettivo loro diametro, ed inversamente proporzionale alla loro lunghezza, mentre è indipendente dal peso tendente il filo. Nei fili di natura diversa, poste pari tutte l'altre circostanze, varia la detta forza in relazione al coefficiente d'elasticità delle rispettive materie.

I solidi elastici, al cessare delle forze esterne d'inflessione o di torsione, non si riducono di subito nello stato di apparente quiete, ma colle loro molecole vanno oscillando per alcun tempo intorno a quella posizione nella quale si eguagliano le energie delle opposte sospinte molecolari, tanto che abbiano trasmessa a' corpi circostanti la forza viva risultante dalla perturbazione.

Nel caso della elasticità di torsione, quando l'ampiezza delle o-

scillazioni non ecceda un piccol numero di gradi, le oscillazioni riescono sensibilmente isocrone, cioè d'egual durata: inoltre le durate delle oscillazioni risultano direttamente proporzionali alle radici quadrate delle lunghezze dei fili e dei pesi che li tendono, ed inversamente proporzionali ai quadrati dei diametri dei fili.

Poiché allungando e specialmente assottigliando i fili, la forza d'elasticità alla torsione può ridursi piccola quanto si vuole, così essa venne adoperata a misurare forze minime, come s'è veduto addietro (§ 75) nella bilancia di Cavendish, e si vedrà avanti nelle bilancie elettrica e magnetica di Coulomb.

Il valore del coefficiente d'elasticità delle singole materie può dedursi anche sperimentando la loro elasticità alla flessione, od alla torsione, ed in ogni modo riesce sensibilmente corrispondente a quello dedotto collo sperimentare l'elasticità all'allungamento. Ecco i medj valori dei coefficienti d'elasticità ottenuti da Wertheim:

Ferro	Chil. 1,996	Zinco	Chil. 0,932
Acciaio.	» 1,923	Oro	» 0,816
Platino.	» 1,702	Argento	» 0,736
Rame.	» 1,281	Stagno.	» 0,400
Ottone	» 0,980	Piombo.	» 0,206

Però i diversi lavori meccanici e fisici, cui si assoggettano i metalli, modificando in essi notevolmente la densità, ossia il loro peso specifico, modificano pure il loro limite di tenacità ed il loro coefficiente d'elasticità.

§ 131.* Secondo alcune osservazioni di Gerstner (1832) sovra fili di ferro, risulta che l'allungamento stabile che precede la rottura comincia fin dalle più piccole trazioni. Cosicché un allungamento qualunque, prodotto da una data trazione, sarebbe sempre composto di due parti, l'una transitoria, che scompare scaricando il filo del peso distraente, e l'altra permanente, per ciò che il filo, anche sottratto alla trazione, trovasi più o meno allungato, secondo che maggiore o minore fu la trazione sofferta. Allora, caricando di nuovo il filo, ma con un peso minore di quello di cui fu già gravato, in relazione alla lunghezza attuale del filo scaricato, si produce soltanto un allungamento transitorio, poichè scompare interamente scaricando il filo, ossia questo manifesta un'elasticità perfetta. Che se caricasi il filo d'un peso maggiore di quello, con cui fu prima gravato, si produce ancora un allungamento stabile che concorre coll'allungamento transitorio alla formazione dell'allungamento totale.

Pertanto l'allungamento totale non sarebbe mai proporzionale alla trazione, riferendolo alla lunghezza primitiva, essendo formato da

una parte proporzionale alla trazione, che è l'allungamento transitorio riferito alla lunghezza stabile del filo corrispondente a questa trazione, e da una parte che non lo è ed altera la parte proporzionale, cioè in quella parte che forma l'allungamento stabile medesimo.

Tuttavia i fili sottoposti agli sperimenti, anche secondo le osservazioni di Gerstner, finché non si sottopongono a trazioni maggiori di quelle da essi sofferte nell'esser tirati alla filiera, dovrebbero dare allungamenti proporzionali alla trazione.

Weber trovò che, oltre l'allungamento prodotto istantaneamente in un filo elastico dall'applicazione d'una forza di trazione, avvi realmente un allungamento ulteriore, il quale cresce a misura che continua la trazione, prima rapidamente, poi sempre più lentamente, finché giunge al suo limite sensibile. E del pari, quando si fa cessare la trazione, si distrugge bensì istantaneamente in un filo elastico gran parte dell'allungamento prodotto dalla trazione stessa, mentre la parte che scompare di poi lentamente è proporzionale al tempo trascorso sino a quell'istante giusta un rapporto, che vuolsi determinare per ciascun filo colla sperienza, unitamente al coefficiente di elasticità.

Sperimentando su l'elasticità alla flessione, Kuppfer trovò che: 1.º la flessione d'una verga, incastrata ad un estremo e gravata all'altro da un dato peso qualsiasi, aumenta col tempo, e cessa solo dopo alcun tempo, il quale talora giunge a parecchi giorni; 2.º quando una verga restò inflessa per non poco tempo, col togliere il peso, non ritorna alla pristina posizione, se non dopo un tempo più o men lungo; 3.º una verga inflessa da un peso solo per pochi istanti, ritorna tosto ed esattamente alla prima posizione, levando il peso; però, se questo eccede un dato limite, la verga richiedè qualche tempo per ridurvisi, o non vi si riduce punto.

§ 132. Wertheim da una accurata serie di esperienze su l'elasticità di pressione e di trazione dedusse: 1.º La comprimibilità o dilatabilità cubica eguaglia la lineare; cioè il decremento o l'aumento di volume prodotto in un solido da una forza premente o traente, che operi egualmente secondo le tre dimensioni, corrisponde al raccorciamento od allungamento provato dal solido medesimo, compresso o stirato nel senso d'una sola dimensione. 2.º Un cilindro o prisma, stirato nel senso della lunghezza, aumenta di volume per ogni unità di volume, quant'è $\frac{1}{3}$ (e non $\frac{1}{2}$ come davano le formole di Poisson sull'elasticità di trazione) dell'allungamento occorso per ogni unità di lunghezza. 3.º La diminuzione dell'area della sezione trasversale eguaglia $\frac{2}{3}$, e l'accorciamento del lato del prisma o del raggio del

cilindro eguaglia $\frac{1}{3}$ dell'allungamento e non $\frac{1}{4}$ del rapporto tra la forza e l'allungamento od accorciamento corrispondente. Questi risultati sono importanti per calcolare le variazioni di volume e di capacità dei solidi elastici, in corrispondenza alle variate pressioni o trazioni che si esercitano su di essi.

Ponendo ad esempio, l , d , s e v , la lunghezza, il diametro, la sezione ed il volume d'un cilindro o d'un prisma, innanzi la modificazione elastica, mentre la sua lunghezza dopo la trazione o la compressione, diventa $l(1 \pm \alpha)$, posta α la variazione elastica dell'unità lineare, secondo i dati precedenti, il suo diametro, la sua sezione trasversale, ed il suo volume, sarebbero rispettivamente e spressi da:

$$(99) \quad d\left(1 \mp \frac{\alpha}{3}\right); \quad s\left(1 \mp \frac{2\alpha}{3}\right), \text{ e } v\left(1 \pm \frac{\alpha}{3}\right),$$

ritenuti i segni superiori pel caso della trazione e gl'inferiori per la compressione.

Per queste indagini Wertheim si valse d'un metodo proposto da Regnault. Adoperò cioè cilindri cavi, che si sottomettevano a trazioni longitudinali, misurandone gli allungamenti col catetometro, nel mentre le lor variazioni di volume, o meglio di capacità, eran date dall'acqua, ben purgata d'aria, che ne riempiva il vano e sorgeva in un cannello applicato per bene alla base superiore di tali cilindri.

A schiarire alcuni degli indicati risultamenti valgono i seguenti esempi, tratti da accurate sperienze di Hodgkinson.

Verga di ferro, diam. mill. 13				Verga di ferraccio, diam. mill. 23,7			
Traz. in chilogr.	Allungamento			Press. in chilogr.	Compressione		
	totale	perman.	elastic.		totale	perman.	elastic.
5,75	0,185	0,000	0,185	1,45	0,156	0,004	0,152
7,49	0,379	0,003	0,376	2,90	0,324	0,019	0,305
11,25	0,571	0,005	0,566	4,39	0,498	0,033	0,465
15,00	0,760	0,010	0,750	5,80	0,636	0,054	0,602
18,75	1,013	0,083	0,930	7,25	0,828	0,077	0,757
22,50	2,360	1,130	1,230	8,70	1,001	0,091	0,910
26,25	9,951	8,575	1,376	10,16	1,180	0,117	1,063
30,00	19, 85	18, 42	1,430	13,03	1,541	0,171	1,370
33,74	24, 77	22, 71	2,060	17,41	2,079	0,368	1,711
				23,27	2,943	0,508	2,435

In questi due casi appare che l'allungamento elastico risultò abbastanza proporzionale alla forza traente sino alla carica di 30 chilog., nella verga di ferro, benchè già andasse subendo notevoli deformazioni permanenti. Analogamente occorre per la compressione elastica nella verga di ferraccio sino alla carica ultima di chilog. 23.

Comprimibilità dei liquidi.

§ 133. S'è già notato che i liquidi sono più comprimibili dei solidi per azioni meccaniche, del pari che appaiono più dilatabili per aumento di temperatura.

Dopo che gli accademici del Cimento non erano riusciti a mettere in evidenza sperimentalmente la comprimibilità dei liquidi, fu l'inglese Canton che nel 1761 giunse a dare un'elegante dimostrazione di quel fatto, riducendo anche a misura ciò che diremo il *coefficiente di comprimibilità* di un liquido, ossia la diminuzione di volume provata dall'unità di volume del liquido per l'aumento di una atmosfera nella pressione (*a*). Trovò egli essere l'alcool e l'olio d'uliva più comprimibili dell'acqua, e presentare anche un aumento nella comprimibilità col crescere della temperatura; laddove l'acqua, in pari condizioni, accennava una diminuzione.

Anche Oersted nel 1823 si occupò di questo argomento, adoperando un particolare apparecchio, da lui chiamato *piezometro*, che fu perfezionato da Despretz.

Il liquido da comprimersi è contenuto in un serbatoio di vetro, piuttosto capace, cui sta unito un cannello diviso in parti, la cui capacità ha un noto rapporto con quella del serbatoio. Esso è posto insieme con un tubo manometrico ad aria, entro un vaso di vetro a pareti molto robuste, nel cui fondo siasi versato uno strato di mercurio, il quale, penetrando per l'apertura del cannello piezometrico che starà volta all'ingiù, serve ad indicare il limite del volume apparente del liquido rinchiuso, e, penetrando nel tubo manometrico

(*a*) Egli riempiva del proposto liquido un pallone di vetro con annesso un cannello, diviso in parti di eguale capacità ed aventi un noto rapporto colla totale capacità del pallone; faceva bollire il liquido per espellere l'aria dal pallone, fondendo poi l'estremo affilato del cannello, mentre durava l'ebollizione; disponeva il pallone sotto appropriata campana della macchina pneumatica, cosicchè il cannello ne emergesse attraverso un tappo a tenuta di gas, ed osservava le variazioni nella posizione della sommità della colonnetta liquida nel tubo, secondo che rarefaceva o condensava l'aria sotto la campana; oppure, rompendo l'estremo del cannello, apriva adito all'aria atmosferica verso l'interno del pallone.

accenna l'incremento nella pressione. Il vaso è empito nel resto di acqua, insino alla base di un embolo, che scorre in un corpo di tromba, stabilmente congiunto colla parte superiore del vaso stesso. Abbassando poi l'embolo, col girare di una vite con esso congiunta, si provoca un eguale aumento di pressione e sull'acqua esterna a serbatoio e sul liquido in esso contenuto; aumento che è misurato dal manometro. Vuolsi però notare che il serbatoio, benché egualmente premuto sulle sue pareti, interna ed esterna, presenta una diminuzione di capacità, in riguardo all'eccedenza della superficie esterna rispetto alla interna, e quindi in riguardo alla grossezza ed alla figura delle sue pareti. A perturbare poi il risultato concorrono le variazioni di temperatura che accadono durante l'esperienza, le quali, mutando con ben diverso rapporto il volume reale del liquido e la capacità del serbatoio, fanno variare il volume apparente del liquido stesso.

Pertanto il piezometro di Oersted non risponde con sufficiente precisione alla indicata determinazione.

Soddisfa invece alle volute condizioni il piezometro di Regnault, mediante il quale si può determinare, con dirette esperienze, non solo il coefficiente della *comprimibilità apparente* del liquido, ma ancora il coefficiente della *comprimibilità propria* del serbatoio, così da dedurre il coefficiente della *comprimibilità reale* del liquido stesso; avendosi modo di produrre l'incremento nella pressione ora soltanto sull'interno del serbatoio, ora soltanto sull'esterno di esso, ed ora su tutt'e due le superficie, e potendosi tener costante per non breve tempo la temperatura del liquido assoggettato alle prove (a).

(a) Siano rispettivamente ω , ω' , ω'' le variazioni nel volume apparente del liquido per un aumento p nella pressione, il quale ora s'esercita solo nell'interno, ora solo sull'esterno del recipiente, ed ora s'esercita insieme su l'interno e su l'esterno. S'avrà primamente:

$$\omega'' = \omega - \omega'.$$

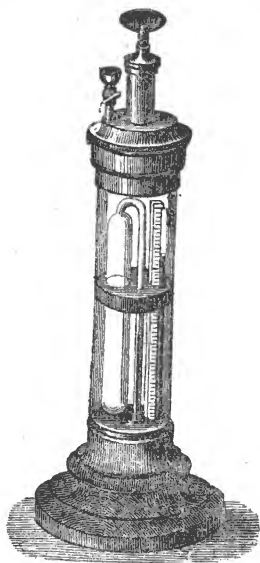


Fig. 91.

Con codesto apparecchio il Regnault poté appunto verificare che, mutando la natura del solido costituente il serbatoio (vetro, rame od ottone) e la figura di esso, muta sensibilmente il coefficiente di comprimibilità apparente di uno stesso liquido.

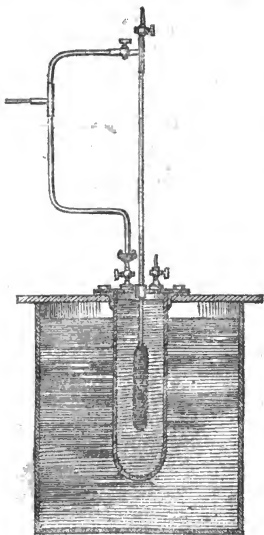


Fig. 92.

Approfittando di questo apparecchio del Regnault, il Grassi istituì molte esperienze, che lo condussero alle seguenti conseguenze :

(a) Mantenendo costante la temperatura, la comprimibilità dell'acqua appare proporzionale alla pressione, non essendosi avute sensibili differenze nel coefficiente di comprimibilità, col variare la pressione iniziale da una sino a nove atmosfere. L'acqua distillata e priva di aria ha un coefficiente un po' maggiore di quello dell'acqua contenente aria nelle consuete condizioni. La comprimibilità dell'acqua diminuisce coll'aumentare della temperatura; laddove la comprimibilità del serbatoio (in vetro od in cristallo) aumenta alcun po' colla temperatura.

b) Gli altri liquidi si comportano per più riguardi diversamente dall'acqua. In quelli che sono di essa più comprimibili (e più dilatabili pel calore) il coefficiente della compressione

aumenta sensibilmente coll'aumentare della pressione. Anche aumentando la temperatura, cresce notevolmente la comprimibilità, analogamente a quanto trovò Canton.

c) Adoperando poi soluzioni di sali o di acidi nell'acqua, il Grassi

D'altronde s'avrà :

$$\frac{\omega'}{v + v'} = (c - c') p,$$

posto v il volume del liquido contenuto nel recipiente piezometrico e v' quello del liquido contenuto nel cannello quando esso è premuto sì entro che fuori dalla sola atmosfera esteriore; c e c' i coefficienti di compressione del liquido e della materia che forma il recipiente. Qui s'intende che siasi dapprima trovata la capacità v del recipiente, presa per unità di misura del volumi la capacità corrispondente ad una delle divisioni del cannello, e che poi v' , ω , ω' ed ω'' siano espressi in riguardo a questa medesima unità.

trovò che il coefficiente di comprimibilità non muta col mutare della pressione iniziale, almeno nei limiti accennati sopra per l'acqua. Il coefficiente di compressione per queste soluzioni è però sempre minore di quello dell'acqua pura, e per uno stesso corpo disciolto la differenza in meno aumenta colla sua quantità; ma da una ad altra soluzione non iscorgesi rapporto tra le rispettive densità e comprimibilità. Anche in queste soluzioni la comprimibilità aumenta colla temperatura, in opposizione a quanto fa l'acqua, ed in accordo a quanto fanno gli altri liquidi.

A dare una più concreta idea di questi fatti esponiamo qui di seguito molti dei valori trovati da Grassi nelle preaccennate esperienze. Il coefficiente di comprimibilità d'ogni liquido vien espresso in milionesime parti del volume primitivo.

Liquidi		temper.	press.	coef. di compr.	Acqua		temper.	coef. di compr.
Etere etilico	. . .	0°, 0	3,408	111,6	Acqua	0°, 0	50,3	
id.	. . .	0,0	7,820	130,9	id.	4,1	49,9	
id.	. . .	14,0	1,580	140,2	id.	10,8	48,0	
id.	. . .	13,8	8,362	152,7	id.	13,4	47,7	
Alcole etilico	. . .	7,3	2,302	82,8	id.	18,0	46,3	
id.	. . .	7,3	9,450	85,4	id.	25,0	45,6	
id.	. . .	13,1	1,570	90,4	id.	34,5	45,3	
id.	. . .	13,1	8,970	99,1	id.	43,0	44,2	
Alcole metilico	. . .	13,5	.....	91,3	id.	53,0	44,1	
Cloroformio	. . .	8,5	.....	62,5	id.			
id.	. . .	12,0	1,309	64,8	id.			
id.	. . .	12,5	9,200	76,3	id.			
Soluzioni		temper.		densità		coef. di compr.		
Cloruro calcico N. 1		17°, 5		1,218		30,6		
id. id. » 2		15,8		1,417		20,6		
id. id. » 2		41,3		1,329		22,9		
Cloruro sodico » 1		18,5		1,1236		32,1		
id. id. » 2		18,1		1,2024		25,7		
id. id. » 2		39,6		1,188		26,3		
Joduro potassico		15,5		1,694		26,0		
Nitrato sodico		18,1		1,203		29,5		
Carbonato sodico		16,6		1,182		29,7		

È specialmente degno di considerazione il fatto che la comprimibilità dell'acqua diminuisca quando in essa diminuisce e la densità e la coesione, cioè quando se ne aumenti la temperatura. Codesto

fatto però venne riconosciuto anche da Wertheim, il quale, facendo vibrare entro tubi sonori l'acqua della Senna a differenti temperature, ottenne suoni, manomano più acuti coll'aumentarne la temperatura: il che accenna, come vedremo fra poco, che con ciò diminuisce il coefficiente della comprimibilità del liquido.

Tuttavia il Macquorn Rankine trovò che codesto fatto può rappresentarsi con una formula molto semplice, la quale significa che la comprimibilità dell'acqua è inversamente proporzionale alla sua densità moltiplicata per la temperatura, computata questa dallo 0° assoluto (*a*). Epperò l'acqua, sotto questo aspetto, presenterebbe un'analogia coi gas.

Ma d'altra parte è ben rimarchevole che la diluizione nell'acqua di non molta quantità d'un sale o d'un acido valga ad invertire questa legge, cioè a farne crescere la comprimibilità coll'aumentare della temperatura. Il che dimostra come *un sistema di molecole di data natura possa venire profondamente modificato nelle sue proprietà fisiche dalla intromissione di molecole, anco in iscarso numero, d'altra natura, sebbene fra queste due forme di molecole non avvenga una combinazione in proporzioni definite (b)*.

Anche per questo lato devesi adunque ritenere che la soluzione di alcuni corpi entro dati liquidi implichi sempre l'esercizio di ciò che comunemente si chiama affinità, e che accenna una perturbazione intestina, correlativa al diverso modo di costituzione dei gruppi molecolari e più alla diversa velocità termica propria a ciascuno di essi. Per modo che due diversi corpi, cioè due diversi sistemi molecolari, non possono coesistere senza modificarsi reciprocamente nelle loro condizioni dinamiche. Ed infatti le soluzioni, come si dirà più avanti, sono sempre accompagnate da variazioni nel volume e da perturbazioni termiche.

Volendo confrontare la comprimibilità cubica dei liquidi colla comprimibilità lineare dei solidi, posto *c* il coefficiente della compressione di un liquido, espresso in milionesimi di volume primitivo, e *c'* il peso in chilogrammi necessario a diminuire di un diecimillesimo

(*a*) Posto *c* il coefficiente di compressione e *d* la densità del liquido alla temperatura *t*, avrebbesi:

$$c = \frac{1}{p \cdot d \cdot T},$$

essendo $T = 273^\circ + t$, e *p* un coefficiente costante, il quale, per la scala centigrada, corrisponderebbe a 72 atmosfere per grado.

(*b*) Vedremo più avanti che questo fatto si verifica anche per rispetto alla dilatabilità termica, e per altri rispetti ancora.

la lunghezza d'un filetto cilindrico di tal liquido avente la sezione d'un millimetro quadrato, si può assumere $c' = 1,0333 \frac{1}{c}$ (a)

Coesione, viscosità e contrattilità nei liquidi.

§ 134. Dobbiamo ora dire della *coerenza* nei liquidi. E qui giova notare che con questo vocabolo intendiamo di accennare tanto la resistenza opposta dalle molecole di un liquido al loro mutuo discostamento e che particolarmente diremo *coesione*, quanto ancora la resistenza che si manifesta in alcuni liquidi al mutare gli aspetti relativi delle loro molecole, ossia al ruotare le une rispetto alle altre senza modificare la loro distanza, la qual resistenza è più particolarmente chiamata *viscosità*.

Per coesione i liquidi manifestano sempre la tendenza a ridursi in forma sferica, nella quale riesce minima la superficie rispetto al volume, e minimo riesce il valor medio delle rispettive distanze di tutte le molecole di una data massa. Così vediamo che il mercurio puro gettato in piccole masse su di un piatto ben pulito di vetro, vi si raccoglie in gocce, la cui figura tanto più si accosta alla sferica quanto più piccole sono: ed anco le più voluminose, mentre per gravità tendono a spianarsi, manifestano la coesione col raccogliersi sotto figure sferoidiche, più o meno schiacciate.

E pur quando l'acqua sgorga verticalmente da un pertugio, di forma regolare e piuttosto angusto, praticato nel fondo di un vaso, si scorge che essa, dopo d'aver percorso un breve tratto, raccolta e continua, quasi a forma cilindrica, comincia a presentare alcune strozzature, alternate da rigonfiamenti, e che di poi questi si disegnano e si separano mano mano più spiccatamente in forma di gocce sferiche e sferoidiche (b).

(a) E ciò ritenendo con Wertheim che il coefficiente della compressione lineare quando la pressione agisce secondo una sola dimensione equivalga al coefficiente della compressione cubica corrispondente ad una pressione operante secondo le tre dimensioni. Così, ad esempio, per l'acqua pura, priva d'aria a 0°, secondo Grassi, si avrebbe $c' = 0,02055$; valore di molto minore del coefficiente della compressione del ghiaccio, che, secondo Bevan, è 0,058. Ed, in generale, i liquidi si ponno dire assai più comprimibili dei solidi. Ad esempio, i coefficienti di compressione cubica nel rame, nell'ottone e nel vetro corrispondono rispettivamente a milionesimi 1,32; 1,44 e 2,37, i quali valori sono minori pur di quelli del mercurio e dell'acido solforico concentrato, che sono 3,52 e 21,2.

(b) Per vedere distinte codeste gocce convien fare l'esperienza in un luogo bujo, ed illuminare il filetto liquido cadente solo per un tempo brevissimo

Ma ancora più facilmente si riconosce la coesione in un liquido, quando si elida in esso l'effetto di gravità, mediante la pressione di un altro liquido, avente la stessa sua densità. Così abbiám veduto sopra (§ 99) che in una opportuna miscela di alcoole e di acqua si può tener nuotante una massa d'olio di ulive di molto volume, la quale vi offre una figura che tanto meno differisce dalla sferica, quanto più uniforme sarà da strato a strato la densità della miscela involgente. Che se poi una grossa goccia d'olio viene coll'urto d'una verghetta, o coll'agitazione del veicolo obbligata a dividersi, ciascuna parte si ricostituirà tosto sotto forma di goccia sferica o sferoidica, accennando quasi sempre una tendenza nella superficie di ciascuna parte a contrarsi il più possibile, obbligando la interna massa a raccogliersi sotto il minimo di superficie, la qual tendenza fu acconciamente chiamata dal Mossotti *contrattilità superficiale* dei liquidi. Simili osservazioni fecero Plateau e Dufour con diverse combinazioni di vari liquidi. L'acqua, ad esempio, può tenersi sospesa in grosse gocce entro una miscela di olio di lino e di garofani.

S'avrà un'approssimata misura della coesione relativa dei liquidi, se, come fecero Gay-Lussac, Frankenheim e Tate, si farà effluire un liquido da un cannello capillare, applicato normalmente al fondo orizzontale di un vaso. Allora, se il cannello sarà sufficientemente angusto da lasciar sgorgare il liquido lentamente, in forma di gocce distinte, si riconoscerà che ciascuna di queste, innanzi di staccarsi dal velo liquido che bagna la sezione della base del cannello, assumerà un dato volume, se si manterranno costanti la natura del liquido, la temperatura di esso e la pressione esercitata dal liquido contenuto nel vaso su quello che si presenta all'orificio del cannello. Anzi, contando il numero delle gocce che sgorgheranno in dato tempo e pesando codeste gocce raccolte in opportuno vasetto, si potrà determinare il peso di una di esse.

E procedendo similmente con diversi liquidi, tenuta costante la sezione del cannello, e la pressione del liquido interno su l'orificio, si riconosce variare notevolmente dall'uno all'altro liquido il volume delle gocce staccantisi dal cannello, il numero delle medesime in un dato tempo, e quindi il peso di ciascuna. Le gocce d'acqua sono più voluminose e più pesanti di quelle di alcoole: Gay-Lussac trovò circa triplo il peso d'una goccia d'acqua rispetto a quello d'una goccia di alcoole alla temperatura di 15°.

Vuolsi però notare che, anco in questo modo di sperimentare, rie-

come ottiensì con una scintilla elettrica; altrimenti vediamo insieme confuse le immagini delle successive posizioni occupate dalle singole gocce cadenti sotto l'apparenza d'un filetto continuo e torbido.

scono implicite le due sovradette forme di coerenza, cioè la coesione e la viscosità, potendosi quest'ultima desumere dalla lentezza con cui vanno ingrossandosi e quindi staccandosi le gocce dei diversi liquidi. Col crescere della temperatura per uno stesso liquido diminuisce il volume delle gocce e cresce il loro numero, poichè scemano tanto la coesione quanto la viscosità.

La viscosità relativa dei liquidi meglio si può desumere dal tempo che essi impiegano ad effluire da un dato cannello capillare, sotto una determinata pressione, siccome fece il Graham, il quale denominò questo fenomeno *traspirazione capillare* dei liquidi. Ei trovò appunto che il tempo della traspirazione, più che colla coesione, ha relazione colla viscosità. In gruppi di composti organici analoghi trovò il detto tempo mano mano maggiore ne' liquidi che bollono a più alta temperatura. Valgano i seguenti esempi, ne' quali s'è preso per unità della traspirazione dei vasi liquidi il tempo per la traspirazione d'un egual volume di acqua:

	traspir.	eboll.		traspir.	eboll.
Etere formico	0,311	53°,0	Acido nitrico	0,990	86°,0
id. acetico	0,533	74,0	id. acetico	1,280	120,0
id. butirico	0,750	120,0	id. butirico	1,565	163,0
id. valerico	0,827	133,5	id. valerico	2,155	175,0
Formiato d'etile	0,511	59,9	Acetone	0,400	55,6
Acetato id.	0,553	74,1	Alcole metilico	0,630	66,0
Butirato id.	0,750	119,0	id. etilico	1,195	78,5
Valerato id.	0,827	—	id. amilico	3,619	132,0

Le diluzioni degli acidi nell'acqua offrono un massimo di viscosità, cioè un tempo massimo di traspirazione, con una certa proporzione di acqua; l'acido solforico con un equivalente, l'acido acetico con due ed il nitrico con tre equivalenti d'acqua.

§ 135. Un altro modo opportuno per apprezzare la coerenza relativa dei liquidi lo si trae dallo sforzo richiesto a staccare un disco solido dalla superficie libera di diversi liquidi, capaci di bagnarlo, siccome procedette Gay-Lussac. Il disco è sorretto per mezzo d'un filo, corrispondente al suo centro di gravità, da un guscio d'una bilancia idrostatica, ed equilibrato quanto alla sua gravità da opportuno contrappeso, posto su l'altro guscio: la sua faccia inferiore, che dev'essere orizzontale, vien quindi portata, coll'abbassare il flagello, a pieno contatto della superficie orizzontale d'un liquido contenuto in una sottoposta coppa, per modo che non rimangano bolle d'aria al di sotto di esso. Allora, caricando l'altro guscio con pesi, che s'andranno poco a poco e cautamente (senza smuovere il flagello) au-

mentando, si scorge che il liquido sollevasi sotto il disco, al disopra dell'esterno livello, sino a che il peso del liquido così sollevato eguagli la coerenza esercitantesi fra due strati contigui ed orizzontali del liquido, là dove minima è la sezione della colonna sollevata.

Con questo processo si riconosce che, tenute ferme la qualità e temperatura del liquido e l'area del disco solido, e variando la natura, la densità e la grossezza di questo, purché sia bagnabile dal liquido, la trazione da esercitarsi per istaccarlo rimane costante. Variando l'area del disco, lo sforzo per produrre il distacco da un dato liquido è direttamente proporzionale all'area stessa. E variando solo la temperatura, lo sforzo per produrre la rottura d'una colonna liquida, di data natura e sezione, va diminuendo colla temperatura, ma con varia ragione.

Tutti questi risultati confermano che l'adesione tra il liquido e solido interviene solo come una condizione predisponente del fenomeno (cioè a rendere possibile il sollevamento del liquido), e che la condizione fondamentale del fenomeno sta nella coerenza relativa del liquido, la quale appunto varia colla natura e colla temperatura di esso.

Anche di questo modo si può rilevare e valutare approssimativamente la viscosità d'un liquido, a differenza della sua coesione. Come osservò Bellavitis, i liquidi viscosi possono temporaneamente reggere ad uno sforzo di trazione maggiore del corrispondente limite di coesione, per determinare il quale bisogna, non solo crescere gradatamente i pesi, ma lasciar poi operare ciascun di essi per un tempo abbastanza lungo (di almeno 4' a 5'). Trovato codesto limite, si osserva che, anco aumentando di poco il peso traente, il disco non si stacca così subito dal liquido, ed il tempo, che decorre tra l'applicazione del peso ed il distacco, riesce tanto maggiore quant'è minore l'eccesso di questo peso sul detto limite. È pur rimarchevole che i liquidi molto viscosi non hanno molta coerenza.

Valgano a schiarire queste osservazioni i seguenti dati, che ottenni con un disco di vetro del diametro di cent. 8. Il peso voluto a determinare il distacco del disco è espresso in grammi.

	temper.	densità	peso pel distacco	tempo
Acqua	4°	1,0000	gr. 24,5	.....
id.	12	0,9995	» 23,4	.....
id.	20	0,9982	» 21,3	.....
Glicerina	22	1,280	» 22,8	.....
Olio di ricino	10	0,968	» 18,0	1'30"
id.	22	.....	» 17,0	1,45
id.	22	.....	» 17,5	15
id.	22	.....	» 18,0	8
Olio d'ulive	22	0,910	» 16,4	.....
Alcole etilico	10	0,815	» 14,5	.....
id.	22	.....	» 13,0	.....

Ho pure verificato che, usando un disco di zinco ed altro di legno, di egual diametro del predetto di vetro, si richiedeva lo stesso peso per istaccarli dall'acqua, presa ad eguale temperatura. Ed impiegando due dischi di legno, aventi le aree rispettivamente di 50 e 32 centim. quadrati, per istaccarli dall'acqua a 12° , si richiesero grammi 23,0 o grammi 14,5 rispettivamente; i quali pesi sono, all'incirca, direttamente proporzionali alle dette aree.

Tuttavia codesto processo non è abbastanza sicuro per valutare la coerenza relativa dei liquidi, massime in riguardo alla variabile sezione trasversale della colonna liquida sollevata dal disco, la quale, in prossimità del limite di rottura, assume la forma di una gola, poichè tende a stringersi sempre più, anche in opera della forza contrattile della stessa superficie di contorno.

§ 136. Sono però suscettibili di maggiore precisione le misure della coesione relativa dei liquidi, che si traggono dai fenomeni detti di *capillarità*, cioè dall'osservare la loro varia elevazione nei tubi capillari.

Tutti i liquidi atti a bagnare il vetro si elevano ne' cannelli tanto più quanto minore ne è il diametro interno, presentando un menisco concavo alla sommità della colonnetta liquida in essi elevata. Invece il mercurio, che non bagna il vetro, si tiene depresso nell'interno dei cannelli capillari, e tanto più quanto più son questi angusti, e la colonnetta liquida così depressa termina con un menisco convesso.

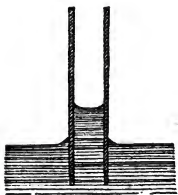


Fig. 93.

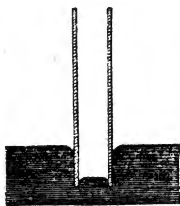
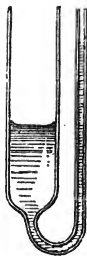


Fig. 94.



Ma, per ottenere esatte misure di codeste elevazioni o depressioni capillari occorre dapprima far scelta di cannelli che sieno veramente calibri, esplorandone il vano, col farvi scorrere una colonnetta di mercurio, sì che ne occupi successivamente i vari tratti, e misurando ogni volta la lunghezza di essa, a temperatura costante.

Devesi ripulire per bene l'interno del cannello da ogni materia grassa, per mezzo d'una diluzione d'acido nitrico e poi per mezzo dell'etere.

La misura approssimata del raggio medio interno r del cannello è data dal peso p di una colonna di mercurio, che ne riempia il vano per una lunghezza l alla temperatura t , mercè la:

$$(100) \quad p = \pi r^2 l \frac{13,596}{1 + \delta t},$$

posto δ il coefficiente di dilatazione medio del mercurio, che può ritenersi 0,00018 per le temperature comprese tra 0° e 30° .

Disposto poi il cannello col suo asse verticale, bisogna dapprima affondarlo nel liquido, si da bagnare per bene l'interna superficie, per sollevarlo dipoi, e ripetere anzi più volte questo maneggio, tanto che si possa aver la certezza che il vano del cannello si mantenga bagnato al disopra della colonna liquida che si vede elevata in esso.

Infine bisogna determinare con molta cura, per mezzo di un catetometro, la differenza di altezza tra la superficie di livello del liquido all'esterno e la base del menisco concavo, che sta alla sommità della colonnetta liquida.

Adoperando cannelli di egual diametro, ed immergendoli in liquidi di diversa natura sotto una medesima temperatura, si trova che il peso della colonnetta elevata nello spazio capillare ha una diretta relazione collo sforzo di coesione, quale si è misurato poc'anzi col distacco del disco: e quel peso ottiensi moltiplicando l'altezza per la densità relativa di ciascun liquido (ritenuta eguale la sezione trasversale). È appunto codesto peso che misura il limite di coesione del menisco anzidetto colla guaina liquida che aderisce all'interna parete del tubo.

È che *la varia coesione relativa dei liquidi sia la condizione fondamentale della varia loro elevazione entro cannelli di dato diametro* e ad una determinata temperatura, appare chiaramente dallo specchio che segue, dove si indica l'altezza della colonnetta di ciascun liquido che sta elevata sul livello esterno, entro un cannello avente un mill. di raggio. Vi si espone altresì il prodotto di codesta altezza per la densità relativa d'ogni liquido.

Liquidi	Temperatura	Densità	Elevazione in mill.	Prodotto
Mercurio (a)	12° 0	13.595	5.56	74.49
Acido solf. monoidr. . . .	0.0	1.849	8.40	15.54
Acqua	0.0	1.000	15.30	15.30
Olio d'ulive.	0.0	0.916	7.46	6.83
Solf. di carbonio. . . .	0.0	1.290	5.10	6.58
Essenza di cedro. . . .	0.0	0.838	7.23	6.07
id. di trement. . . .	0.0	0.890	6.76	6.02
Etere acetico	0.0	0.905	6.10	5.52
Alcole etilico. . . .	0.0	0.821	6.05	4.97
Etere etilico	0.0	0.739	5.35	3.95
Sali neutri	16.8	1.475	11.10	16.37
id. id.	16.8	1.043	14.40	15.02
Acido tarttrico	19.0	1.114	13.30	14.82
id. citrico	13.0	1.140	12.24	13.95
id. formico	0.0	1.105	10.20	11.27
Cloruro di zinco	0.0	1.364	10.06	13.72
Potassa caustica. . . .	19.0	1.059	12.40	13.13
id. id.	19.0	1.405	6.50	9.13

Da questo quadro facilmente si desume che i liquidi più coerenti, come sono il mercurio, l'acido solforico e l'acqua, offrono pel detto prodotto valori ben maggiori di quelli corrispondenti ai liquidi di minima coerenza, come sono l'alcole e l'etere. Si riconosce pure che su la elevazione capillare non ha influenza sensibile la viscosità dei liquidi, giacchè, ad esempio, l'olio d'ulive presenta un prodotto che è minore della metà di quello corrispondente all'acqua.

Anche per questi fatti è facile persuadersi che la adesione fra liquido e solido interviene soltanto come condizione predisponente del fenomeno: giacchè un dato liquido ad una data temperatura si tiene egualmente elevato entro cannelli aventi lo stesso diametro, sebbene formati da materie diverse e quindi di diverse densità, ed anco con diverse grossezze delle pareti, purché tutte codeste materie dei cannelli sieno ugualmente bagnabili da un tal liquido. Poichè appunto la colonnetta capillare si tiene elevata sul livello esterno, grazie alla coesione esercitantesi fra il contorno del menisco concavo ed il velo liquido col quale si deve preventivamente bagnare il vano del cannello.

Epperò accade che, per uno stesso liquido in un cannello di dato

(a) Pel mercurio s'espone l'elevazione determinata da Avogadro entro tubi metallici, per bene amalgamati.

diametro, l'altezza della colonnetta capillare va diminuendo col crescere della sua temperatura; e ancora con varia ragione ne' diversi liquidi. A questo proposito citiamo le formole empiriche che, secondo le esperienze di Brunner, esprimono l'altezza a in millimetri della colonnetta capillare sotto diverse temperature t in gradi centesimali entro un tubo di un millimetro di raggio:

Per l'acqua	$a = 15,33215 - 0,02864t$
» l'olio d'ulive.	$a = 7,4640 - 0,0105t$
» l'etere	$a = 5,3536 - 0,0280t$

Qualora queste relazioni potessero tenersi valevoli anche per temperature superiori a quelle cui furono spinte l'esperienze, dalle quali furono dedotte (prossimamente alla temperatura di ebollizione d'ogni liquido sotto la pressione di un'atmosfera), s'avrebbe modo di desumere a quale temperatura ciascuno di codesti liquidi debba cessare di star elevato in uno spazio capillare, perchè risulti annullata in essi la coesione e ridotta quindi la superficie del menisco ad essere piana e normale alla parete interna. Codesta temperatura t sarà data dalla relazione $b = ct$, posti b e c i coefficienti numerici dei due termini del secondo membro delle predette equazioni. Con che si ottiene per l'acqua $t = 535^\circ$, per l'etere $t = 191^\circ$ e per l'olio $t = 711^\circ$.

Ora il Wolff sperimentando sull'etere, trovò che appunto esso perde ogni coerenza verso i 190° , poichè chiuso entro un robusto tubo di vetro, per modo che la capacità di questo fosse tutt'al più due o tre volte quella occupata prima dal liquido, alla detta temperatura, d'un tratto, esso si riduce tutto in vapore. Cagniard-Latour, che aveva già prima fatte analoghe esperienze sull'etere, sul solfuro di carbonio e sull'alcole, era giunto pressochè allo stesso risultato, avendo ottenuto per l'etere la completa vaporizzazione a 188° , per l'alcole a 259° e pel solfuro di carbonio a 275° (a).

§ 137.* *Che la forza determinante l'elevazione capillare risieda nel menisco concavo, e che essa sia correlativa alla coesione del liquido*, lo si ritrae facilmente da una doppia serie di fatti: 1.^o tutto che fa variare la curvatura del menisco, fa pur variare l'elevazione capillare per un dato liquido; 2.^o alla superficie libera di un liquido si manifesta un tale stato di tensione delle molecole, che ben può dirsi contrattilità.

Quanto ai primi fatti ci limiteremo ad accennare i seguenti.

(a) Su quest'argomento avremo occasione di ritornare, parlando dell'ebollizione dei liquidi e delle rispettive calorie di vaporizzazione.

Uno stesso liquido sotto una data temperatura entro cannelli di diverso diametro si tiene appunto elevato in ciascun di essi in ragione reciproca del raggio di curvatura del menisco, e quindi assai prossimamente in ragione reciproca dei raggi interni dei cannelli stessi (a).

Abbiassi un cannello capillare ed un tubo di molto diametro, comunicanti tra loro inferiormente a guisa di U, ma così che l'estremità superiore del cannello riesca di molto inferiore all'estremo aperto del tubo. Si versi per questo acqua, in modo che, passando essa anche nel cannello riesca però lontana dalla sommità di questo, ancor quando tutta la parete interna del cannello, con opportuna preventiva inclinazione del tubo, sia rimasta bagnata dall'acqua. In allora, stando verticali gli assi del tubo e del cannello, il menisco liquido

(a) Nei cannelli di piccolo diametro, può ritenersi, per approssimazione, che il menisco concavo in essi formato alla sommità della colonnetta liquida corrisponda ad una superficie emisferica, di raggio eguale a quello del vano capillare; epperò può anche tenersi corrispondente a questo raggio il raggio di curvatura del menisco stesso.

Chiamando poi v il volume della colonna capillare, d la densità relativa del liquido, g l'accelerazione di gravità, p il perimetro del menisco, r il raggio del cannello e c il coefficiente di capillarità proprio di ciascun liquido, ossia la intensità dell'azione contrattile (o di coesione) spiegata dal liquido su l'unità lineare del detto perimetro, si avrà l'equazione:

$$(101) \quad vdg = pc, \quad \text{ossia} \quad vdg = 2\pi rc,$$

il primo membro della quale esprime il peso assoluto della colonnetta liquida che sta elevata nel cannello al disopra dell'esterno livello, ed il secondo l'energia contrattile del contorno del menisco che sorregge il detto peso.

Ora il volume v di tal colonna è rappresentabile dal volume della colonna cilindrica compresa tra il livello esterno ed il livello tangente il punto più depresso del menisco concavo, aggiuntovi il volume di codesto menisco, il quale corrisponde alla differenza tra il volume del tronco di cilindro avente per base la sezione del cannello e per altezza il suo raggio ed il volume della mezza sfera di egual raggio; e quindi sarà:

$$v = \pi r^2 \left(a + \frac{r}{3} \right)$$

posta a l'altezza della colonnetta cilindrica compresa fra i detti due livelli. Ed introducendo questo valore di v nella (101) si avrà:

$$(102) \quad a + \frac{r}{3} = \frac{2c}{gd} \cdot \frac{1}{r},$$

la quale dimostra appunto essere l'elevazione capillare, prossimamente, in ragion inversa del raggio del cannello.

si terrà in questo elevato sul livello dell'acqua nel tubo di una quantità relativa al diametro del cannello: e tale si manterrà anche versando nel tubo altra acqua, che farà elevare egualmente il menisco ed il livello. Appena però codesto menisco, col suo contorno superiore, giungerà a toccare il contorno dell'apertura del cannello, accadrà che, aggiungendo poco a poco altra acqua nel tubo, la curvatura del menisco andrà grado grado diminuendo, e proporzionalmente diminuirà l'altezza del menisco stesso sul livello del liquido nel tubo; finchè, scomparsa ogni curvatura, cioè ridotta piana la sommità della colonnetta liquida e corrispondente alla sezione d'apertura del cannello, questa superficie si troverà anche corrispondente al livello del liquido nel tubo largo. Ma, da un tal punto, continuando a versare poco a poco altr'acqua nel tubo, si vedrà emergere dall'apertura del cannello la colonnetta liquida in forma di menisco convesso, la cui curvatura andrà gradatamente crescendo, ed intanto si offrirà pur crescente l'altezza del livello liquido nel tubo rispetto a codesto menisco. Anzi, se la sezione del cannello non sarà stata prima bagnata, finchè il menisco convesso si manterrà col suo contorno aderente al contorno dell'apertura, ed ove il menisco stesso potrà assumere il suo massimo di curvatura (quando il raggio di codesta curvatura corrisponderà a quello del menisco concavo che s'aveva dapprima), il ripetuto livello del liquido nel tubo si troverà alto rispetto all'apertura del cannello di una quantità che corrisponderà all'altezza che prima aveva il menisco concavo sopra il livello stesso.

Adunque lo stare elevato, il ridursi a livello, od il tenersi depresso di un liquido in uno spazio capillare hanno diretta relazione colla curvatura della superficie liquida nello spazio capillare. Quando questa superficie è concava, essa esercita un'azione traente verso l'esterno di essa, che tende a sollevare il liquido; e quando essa è convessa, si determina un'azione premente verso l'interno, che tende a spingere in basso il liquido.

Che poi la forza di trazione o di pressione spiegata dal menisco liquido abbia relazione colla coesione di questo, lo si rende manifesto colla seguente prova. Abbiasi ancora, come precedentemente, un cannello capillare congiunto ad U con un largo tubo, in cui siasi posta acqua, sì che nel cannello il menisco concavo risulti elevato sopra il livello nel tubo, e si porti con diligenza una piccola goccia di alcole o di olio, per modo che arrivi a toccare il detto menisco ed a formare al disopra un nuovo menisco. Si vedrà tosto diminuire l'altezza della colonnetta capillare, poichè si sarà diminuito, proporzionalmente alla natura del secondo liquido, il massimo sforzo di trazione cui può reggere il novello menisco, o quello di separazione tra i due liquidi.

Questo fatto è analogo a quello che si accennò sopra (§ 136), quando si disse che, per un dato liquido, col crescere della temperatura, diminuendo in esso la coesione, diminuisce pure l'elevazione capillare.

§ 138.* L'azione contrattile, o la trazione reciproca dei singoli punti d'una superficie liquida si rende evidente colle seguenti sperienze.

Si prepari una soluzione di sapone con insieme un po' di glicerina. S'avrà così un liquido coerente e viscoso, per modo che, prendendone una goccia per mezzo di un cannello, si potrà soffiare una bolla molto consistente, anche quando il velo liquido sarà ridotto tanto sottile da essere iridescente.

Già in questo involuppo liquido, che resiste all'espansione del gas contenuto e va assottigliandosi man mano che cresce la interna pressione, pur conservando sempre la forma sferica, si manifesta l'azione contrattile, ossia la tendenza del velo liquido al raccogliersi sotto le minori dimensioni di superficie.

Si prenda un filo di metallo e se ne formi un anello, del diametro di 5 a 6 centimetri, lasciandovi unito un tratto di filo, perpendicolare al piano dell'anello, da servire di manico. Tuffando l'anello nella detta soluzione ed estraendone poi con avvedimento, vi si faccia aderire una lamina del liquido stesso. Codesta lamina presenterà distinta la sua coesione e contrattilità, poichè vi si potrà lasciar cadere attraverso (purchè non abbia troppa velocità) una pallina, foss'anche del diametro di un centimetro, senza romperla: in quanto che la lamina dapprima si affonderà, per involgere, a guisa di una borsa, la pallina cadente, e si ricostituirà poi, superiormente ad essa, in forma di lamina continua, come dianzi.

Questo fatto può vedersi più chiaramente prendendo un altro anello, simile al precedente, ma d'un diametro un po' minore della metà di quello. Fattavi aderire similmente una lamina di tal liquido, lo si potrà applicare su la lamina aderente all'anello maggiore, e quindi premendo il primo all'ingù, si vedrà distendersi più e più il velo liquido anulare che sta aderente ai due anelli, formando una borsa, la quale potrà affondarsi a tal punto da giungere a ricostituire una lamina continua col velo aderente al maggiore anello, il qual velo dopo avere scivolato su la lamina dell'altro anello, la abbandona poi completamente.

Su la lamina liquida aderente ad un largo anello, tenuta orizzontale, si collochi un filo metallico rettilineo, lungo più del diametro dell'anello e bagnato completamente nel liquido stesso, sicchè la lamina riesca da esso divisa in due parti. Se si determinerà, con qualche artificio, la rottura di una di queste parti della lamina, l'altra, la quale da un lato aderirà ancora al filo, contraendosi e raccogliendo

dosi in una goccia, trascinerà seco questo filo, ancorchè pesante, sin quasi a contatto di quel punto del contorno dell'anello che prima corrispondeva al raggio normale alla direzione del filo.

Con un sottile e corto filo di seta, riunendone i due capi con un nodo, si formi un anello d'un diametro minore di quello dell'anello più grande, lo si bagni nel ridetto liquido, e lo si deponga poi su la lamina aderente all'anello stesso, sicchè vi presenti una figura al tutto irregolare. Allora si rompa la porzione della lamina, che sta entro il contorno del filo serico, e si scogerà la restante parte della lamina, la quale da una banda aderisce all'anello metallico rigido e dall'altra al filo serico flessibile, contrarsi, forzando quest'ultimo a distendersi, così da formare un regolare contorno circolare, con che riuscirà minima la superficie della lamina liquida anulare compresa tra i due fili.

Queste sperienze rendono evidente ad un tempo la contrattilità e la coesione del liquido costituente siffatte lamine. La coesione può rilevarsi anche da ciò che, presentando una di queste lamine in direzione obliqua ad un filetto d'acqua che effluisca da un imbuto a collo sottile, si potrà trovar modo di far deviare sensibilmente il filetto liquido cadente colla resistenza della lamina.

§ 139.* Che la contrattilità superficiale dei liquidi abbia intima relazione colla loro coesione emerge pur da ciò, che l'aumento di temperatura, il quale svisgorisce la coesione, fa pur diminuire l'azione contrattile.

Entro un cannello capillare e ben calibro, fissato coll'asse orizzontale, siasi introdotta una breve colonnetta d'un liquido poco vaporabile, cosicchè presenti due menischi concavi alle sue estremità. Questi, ritenuta l'eguale loro curvatura, eserciteranno sforzi di trazione eguali per trascinare tutto il liquido dalla propria banda, talchè si elideranno scambievolmente. Allora però, scaldando il cannello in prossimità di uno di que' menischi, si svisgorirà la sua azione contrattile, per modo che la colonnetta liquida sarà trascinata dalla prevalente contrattilità dell'altro menisco ancor freddo.

Un analogo risultato si ottiene con quest'altra esperienza. Una verghetta di vetro è disposta orizzontalmente, e verso il mezzo di essa vi si fa aderire una goccia d'olio o d'altro liquido poco vaporabile, la quale colla sua superficie convessa penderà al disotto della verghetta, ed essendo sollecitata a muoversi dalla trazione esercitantesi in tutti i punti del suo perimetro, starà in quiete per l'eguaglianza ed opposizione di codesti sforzi. Allora, scaldando la verghetta da una banda, si vedrà la goccia muoversi verso la banda opposta, dove il solido essendo più freddo anche la contrattilità superficiale del liquido risulta maggiore di quella che è nella parte scaldata.

Questi risultati però si potrebbero anche interpretare col supporre che la adesione fra il liquido ed il solido diminuisca col crescere della temperatura. Ed in vero ancor ciò si può ammettere; ma dev'esi anco convenire che le due interpretazioni possono reggere insieme, concorrendo a produrre gli indicati movimenti tanto la diminuzione nella coesione del liquido, quanto quella dell'adesione fra liquido e solido. Se non che appar probabile che la prima di queste variazioni possa essere più sentita che la seconda, in riguardo a ciò che la dilatabilità termica del liquido prevale in generale a quella del solido (a).

Comprimità dei gas.

§ 140. Si è già avvertito (§ 116) che la legge di Boyle esprime solo approssimativamente la legge della comprimibilità dei gas. Molti fisici si occuparono di quest'argomento, e segnatamente Arago e Dulong, e poi Regnault.

Anzi, tutti quei gas, che sotto pressioni non molto elevate si liquefanno, assumono densità crescenti in una proporzione maggiore delle pressioni, posta costante la temperatura, accennando così una forza aggregativa tra le loro molecole. Però anche alcuni gas, che non si poterono sinora liquefare con pressioni di circa 100 atmosfere, come l'azoto, l'aria atmosferica e l'ossigeno, mostrano pur essi una comprimibilità alcun po' crescente colla pressione. Per opposto l'idrogeno manifesta una comprimibilità decrescente coll'aumentare della pressione, ossia in esso la tensione cresce più rapidamente della densità.

Siano v e v' i volumi che presenta una data massa di gas sotto le pressioni p e p' . Secondo la legge di Boyle il rapporto $\frac{vp}{v'p'}$ dovrebbe essere in ogni caso eguale all'unità (81):

Invece nell'idrogeno riesce tanto minore dell'unità quant'è maggiore la densità, e negli altri gas il rapporto medesimo riesce tanto maggiore dell'unità quant'è maggiore la pressione. In questi confronti dev'onsi fare le correzioni per le variazioni nella densità prodotte dalle variazioni nella temperatura.

(a) Si riconosce la prevalente influenza della coesione anche da ciò, che il moto di retrocessione della colonnetta liquida nel cannello o della goccia su la verghetta riesce più pronto e distinto anche per minori variazioni di temperatura, se il cannello o la verghetta saranno stati bagnati dal liquido anche al di là del posto tenuto dalla colonnetta o dalla goccia.

Similmente può interpretarsi colla diminuita coesione del liquido il moto che presenta la bolla di una livelletta verso la parte scaldata del tubo.

Il processo seguito da Regnault in queste indagini merita decisamente la preferenza su quello adoperato da Dulong e Arago, i quali si valsero di un apparecchio munito di altissimo manometro ad aria libera (§ 117) capace di determinare pressioni elevate sino a 27 atmosfere. Essi però avevano rinchiusa una massa d'aria ben secca in un

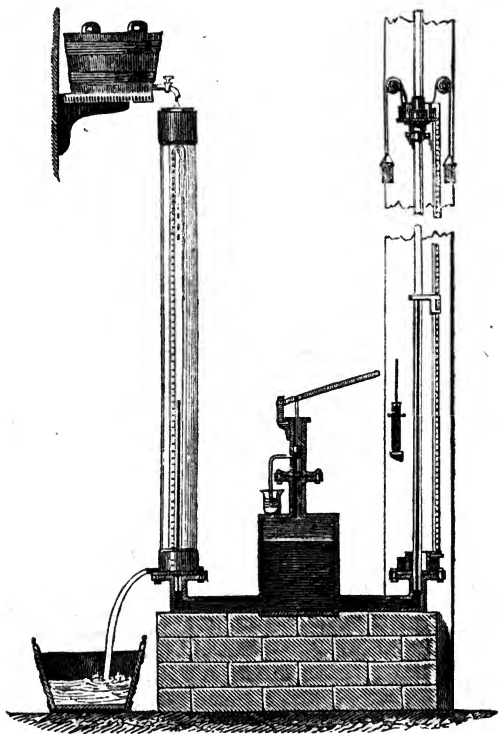


Fig. 95.

robusto tubo cilindrico di vetro, comunicante inferiormente col manometro per mezzo di forti tubulature in ferro empite di mercurio, il quale alla sua volta comunicava con una tromba di compressione;

e quindi andavano assoggettando la stessa massa d'aria a pressioni mano mano crescenti. Ora di tal modo, quest'aria riducevasi ben tosto in una colonna di poca altezza e sempre decrescente, tanto che un dato errore occorso nella lettura dell'altezza medesima esercitava un'influenza rapidamente crescente sul calcolo del rapporto di comprimibilità.

Invece il Regnault, mercè una tromba di compressione, inietta nel tubo stesso contenente il gas, innanzi produrre ogni successivo aumento di pressione, una nuova massa dello stesso gas, così da aumentarne la densità e la tensione, al punto che esso rioccupi sempre la intera altezza del tubo.

Mercè varie serie di osservazioni, egli giunse a trovare le seguenti relazioni fra le densità dei diversi gas e le pressioni corrispondenti, presa per unità delle densità quella che ciascun d'essi assume sotto la pressione d'una colonna di mercurio alta un metro a 0°, che è qui presa per unità delle pressioni:

Densità	Pressioni			
	Idrogeno	Azoto	Aria	Acido carb.
1	1,000000	1,000000	1,000000	1,00000
2	2,001110	1,998634	1,997828	1,98292
4	4,006856	3,991972	3,987440	3,89736
6	6,017676	5,980350	5,969748	5,74296
8	8,033944	7,964112	7,945696	7,51936
10	10,056070	9,943590	9,916220	9,22620
20	20,268720	19,788580	19,719880	16,70540

Avogadro, in base alle precedenti osservazioni di Regnault, fece alcuni importanti riflessi su la costituzione dei gas. Un gas perfetto dovrebbe presentare, appunto come vediamo nell'idrogeno, aumenti nella tensione maggiori degli incrementi nella densità, e ciò sino a che la densità di esso raggiungerà quel valore, per cui incomincerà a farsi sensibile in esso l'influenza della sua tendenza alla liquefazione (nel qual caso non potrà più dirsi un gas perfetto); oltrepassando poi un tal valore, dovrebbero per opposto gl'incrementi nella tensione riuscir minori degli aumenti nella densità, come accade coll'azoto, coll'aria, ecc. Quindi la legge generale della comprimibilità dei gas perfetti dovrebbe esprimersi con tal formola, per cui sotto un certo valore molto piccolo, ma pur finito, della densità del gas si riduca nella sua tensione o forza espansiva.

A questa condizione, secondo Avogadro, soddisfa la formola esponenziale:

$$a \left(\frac{p}{d} - 1 \right)^{\frac{4}{3}} = d,$$

ovvero la equivalente logaritmica:

$$\frac{p}{d} - 1 = \frac{(\log d)^3}{(\log a)^3},$$

posta a una quantità costante per tutti i gas sotto una data temperatura, p la pressione in metri di mercurio a 0° che misura la tensione del gas, e d la densità corrispondente, presa per unità la densità dello stesso gas sotto la pressione di un metro di mercurio. Ed invero codesta formola dà $p=0$, cioè la tensione p riesce nulla quando la densità d sia ridotta al valore $d = \frac{1}{a}$. Inoltre la formola stessa esprime abbastanza bene i risultati delle anzidette sperienze di Regnault.

§ 141. Lo stesso Regnault riconobbe di poi che, pur alle minori pressioni di una a due atmosfere, la legge di Boyle non si verifica punto, e che le divergenze da essa per varii gas non hanno evidente rapporto colla loro densità relativa, ma più assai colla loro suscettività al liquefarsi. Ecco il valore del rapporto $\frac{pv}{p'v'}$ per non pochi gas, variando la pressione da mill. 700 a 1400 circa, a temperatura d'intorno ad 8° .

Gas	Densità relativa	Pressione di liquefaz. a 0°	Rapporto di comprimibilità
Aria	1,0000	. . .	1,00215
Deutoss. d'azoto . .	1,0390	. . .	1,00285
Ossido di carbonio. .	0,9674	. . .	1,00293
Protocarb. d'idrog. .	0,5527	. . .	1,00634
Protoss. d'azoto. . .	1,5220	32 atm.	1,00651
Acido carbonico . .	1,5290	38	1,00722
» cloridrico . .	1,2474	26	1,00925
» solfidrico . .	1,1912?	10	1,01083
Ammoniaco	0,5894	4,5	1,01881
Acido solforoso . .	2,2470	1,5	1,02088
Cianogeno	1,8060	2,4	1,02353

In generale poi la legge di comprimibilità dei gas, secondo Regnault, è esprimibile dalla formola:

$$(103) \quad \frac{p}{p'} = 1 - a \left(\frac{v}{v'} - 1 \right) + b \left(\frac{v}{v'} - 1 \right)^2,$$

dove a e b sono coefficienti numerici, variabili da uno all'altro gas, e da determinarsi con opportune serie di sperimenti.

L'influenza della temperatura su la comprimibilità dei diversi gas sarà accennata nel capo VII, parlando della loro dilatabilità per il calore.

I risultati sperimentali circa la liquefazione di molti gas si daranno nello stesso capo, trattando de' cambiamenti di stato de' corpi.

Fin d'ora possiam però notare che codesto fatto del crescere nei gas la densità con ragione più rapida della pressione significa che, ad ogni diminuzione nelle distanze molecolari la forza aggregativa si manifesta efficace e va guadagnando d'intensità: epperò il fatto stesso basterebbe da solo a mettere in chiaro che le molecole dei gas si urtano e riurtano continuamente tra loro (§ 122), poichè non può ammettersi che la gravitazione molecolare operi a distanze sensibili tra le molecole dei fluidi aeriformi, se essa non mostrasi efficace a distanze appena sensibili tra le superficie dei solidi.

CAPO VII.

ACUSTICA (a).

§ 142. Dai fatti di elasticità poc'anzi studiati (cap. VI) si ritrae facilmente che ogni corpo può considerarsi quale un sistema di molecole gravitanti fra loro, rattenute però dall'accostarsi troppo da alcuni moti loro proprii, correlativi alla loro termicità.

Però qualsiasi corpo omogeneo avente una struttura interna uniforme avrà pure la proprietà d'essere elastico. Talchè, quando le sue molecole sieno turbate nel loro conflitto reciproco da azioni estrinseche, innanzi di rimettersi in riposo nella prima loro posizione, passeranno alternativamente e rapidamente dalle due parti di quella posizione, facendo oscillazioni isocrone, la cui ampiezza andrà prestamente diminuendo per la perdita di forza viva, dipendente dalla comunicazione del loro moto vibratorio ai corpi ed ai mezzi circonvicini.

Se, per esempio, un corpo elastico vien premuto così che le sue molecole si faccian fra loro più vicine, si promuoverà tra esse tale tensione, ossia tale reazione al loro mutuo accostamento, da equilibrare l'azione premente; epperò, al cessare di questa, le molecole saran tosto condotte alla loro posizione dalla medesima reazione. Ma, giungendovi animate da una certa velocità, l'oltrepasseranno in modo da far dilatare il corpo, sinchè la gravitazione molecolare varrà ad estinguere codesta velocità. Quindi le parti di quel sistema, alternando fra il moto di condensazione e quello di espansione, eseguiranno una serie di vibrazioni molto rapide, le quali andranno gradatamente scemando d'estensione per la graduale trasmissione di tale loro moto ai corpi circostanti, sino a ridursi sensibilmente allo stato di riposo.

Altrettanto accadrebbe, ma in senso inverso, ove il corpo dapprincipio fosse stato allungato ed abbandonato poi a sé. Ed anco ove fosse stato piegato, poichè in tal caso, mentre una parte di esso vien compressa, un'altra si dilata, e le consecutive reazioni di queste parti per ritornare al primo stato, riescono cospiranti.

Le vibrazioni così eseguite da un corpo elastico hanno la partico-

(a) Da ἀκούω, udire, dicesi acustica quel ramo della fisica che studia le condizioni e le leggi dei suoni.

lare proprietà di essere tutte isocrone fra loro, cioè di compiersi in eguali intervalli di tempo, per quanto sia or maggiore ed ora minore la loro estensione. Questa proprietà dipende dalla legge con cui varia nei corpi la forza elastica.

Nella dinamica si dimostra che, ove le forze sollecitanti i punti di un sistema siano proporzionali agli spazi che essi devon percorrere per riprendere la rispettiva posizione d'equilibrio, sempre vi giungono in egual tempo, comunque ne siano diversamente spostati, e quindi risultano isocrone le loro oscillazioni intorno a tale posizione di equilibrio.

Condizioni d'un suono.

§ 143. Or quando le molecole costituenti un corpo elastico effettuino una serie di vibrazioni; quando ciascuna di tali vibrazioni si compia in un tempo brevissimo, e tutte si compiano in eguali intervalli di tempo, quantunque varii l'ampiezza della escursione delle singole molecole dalle due bande della posizione d'equilibrio; quando queste vibrazioni, nel loro insieme, durino un tempo non troppo breve prima di ridursi ad ampiezze insensibili, ed infine quando tra il detto corpo vibrante ed il nostro organo dell'udito esista una non interrotta serie di corpi elastici (siano poi questi solidi, liquidi od aeriformi) ne quali vengon da quello suscitate analoghe vibrazioni: allorquando tutte queste condizioni si verificano e ad un tempo, si determina in noi quel particolar modo di sensazione, che dicesi suono.

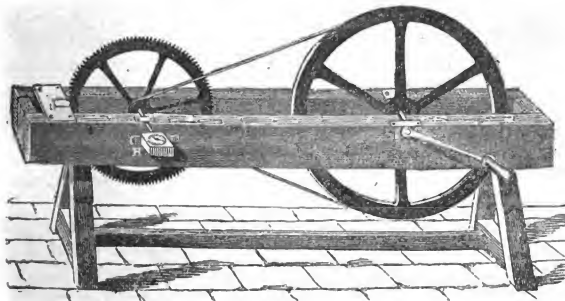


Fig. 96.

Riesce facile dimostrare sperimentalmente la necessità di ognuna delle indicate condizioni per la produzione e percezione di un suono:

che vi sia cioè un corpo elastico le cui molecole vadano compiendo vibrazioni ampie, rapide, isocrone, durature, e trasmettendosi per altri corpi sino all'organo dell'udito.

Ad esempio i corpi molli non danno suono, e lo ammorzano nei corpi elastici, come lo dimostra il suono cupo di una campana coperta di neve, o di un tamburo rivestito da un drappo non teso.

Ove gli scuotimenti molecolari non si succedano in modo regolare, o durino pochi istanti di tempo, provocano nell'udito un altro modo di sensazione, che dicesi *rumore*. Però anco una serie di urti suc-

cedentisi rapidamente e regolarmente può dare un suono percepibile, come accade coi battiti dei denti d'una ruota contro un solido elastico (fig. a pag. 239).

È agevole poi mettere in evidenza le vibrazioni che avvengono in qualsiasi corpo in atto di suono, come in una corda tesa e pizzicata; in una lastra di vetro o di metallo, sparsa di minute polveri e sfregata con archetto; in uno strumento musicale pel fremito che si risente applicandovi mollemente le dita; in un calice pieno di li-

quido, sfregato con archetto o con dito bagnato, per l'incresparsi e



Fig. 97

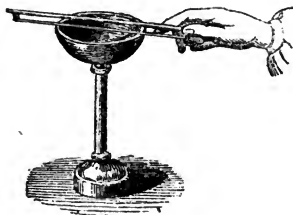


Fig. 98.

lo sprizzare del liquido, e specialmente in una campana metallica suonante pel saltellare delle palline di sovero pendenti da un filo

e toccanti l'orlo di essa, le quali svelano un mutarsi alterno della figura dell'orlo stesso. Anzi, in questo caso, se si accosta al contorno della campana vibrante, senza toccarla, un telaino che porti una membrana ben tesa e cosparsa di fina polvere, si rilevano le vibrazioni dell'aria circostante alla campana stessa.

È poi facile mostrare la necessità d'una non interrotta serie di corpi fra l'orecchio ed il corpo sonoro per trasmettere le vibrazioni. Il corpo che d'ordinario serve per la trasmissione de' suoni è l'aria atmosferica. Pongasi una campanella metallica, percossa ripetutamente da un martelletto, mosso da un elastro e sorretto da un cuscinetto d'ovatta, sotto la campana della macchina pneumatica; col rarefare dell'aria, scema l'intensità del suono sino ad estinguersi.

Ove si sospettasse che nell'aria rarefatta cessasse il suono perchè s'estinguessero nel corpo sonoro le vibrazioni, convien mettere il detto apparecchio sotto una piccola campana piena d'aria e coprirla con altra più grande, rarefacendo poi l'aria frammezzo alle due campane. Si pone il cuscinetto all'uopo di togliere la comunicazione del suono per le parti solide della macchina, su le quali posasi l'apparato.

Il suono propagasi però anche per qualsiasi gas o vapore che s'introduca nel recipiente della macchina pneumatica, dopo estratta l'aria.

Ove l'aria sia condensata, il suono riesce più gagliardo: invece riesce molto fievole salendo in alto sui monti o ne' palloni areostatici.

Il suono si trasmette anche per mezzo di liquidi e di solidi: così si sente il rumore de' ciottoli che s'urtano sotto l'acqua; i palombari al fondo dei laghi o dei mari ascoltano ciò che dicesi al di fuori e ponno farsi intendere; i minatori trasmettono i loro segni attraverso le rocce dividendi due gallerie; di notte, accostando l'orecchio al suolo, si odono i passi dei cavalli od altri rumori a grandi distanze; ed applicando l'orecchio all'estremo d'una lunga trave, sull'altro estremo della quale sia posato un orologio da tasca od un sottil ago vibrante fissato in esso, se ne percepisce distintamente il suono.

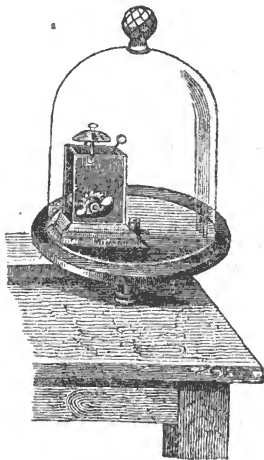


Fig. 99.

Velocità del suono.

§ 144. *Le vibrazioni sonore nell'aria atmosferica, come in ogni mezzo omogeneo, si diffondono in isfera attorno a ciascun punto vibrante, o si propagano in ogni direzione, per modo da percorrere successivamente spazi eguali in eguali tempi, benchè la velocità nel moto delle singole molecole, che servono a trasmetterla, sia variabile, alternativamente in più ed in meno. Quindi la velocità del suono (ossia la distanza a cui si propagano le vibrazioni sonore in un minuto secondo di tempo medio) ha relazione colla densità, colla elasticità e colla temperatura dei varî mezzi nei quali si propaga.*

Gli Accademici del Cimento, nel 1660, determinarono pei primi in modo preciso la velocità del suono nell'aria. E Bianconi nel 1740 avvertì aver molta influenza su tale velocità la temperatura dell'aria. Cresce questa velocità coll'aumentar della temperatura secondo il rapporto espresso da:

$$(104) \quad v_1 = v \sqrt{1 + \delta t'}$$

ove v sia la velocità del suono nell'aria secca a 0^0 , v_1 la corrispondente velocità quando la temperatura sia t' , posto δ il coefficiente di dilatazione dell'aria. E poichè, come vedremo innanzi secondo Regnault, risulta essere:

$$\delta = 0,00367 = \frac{1}{273}$$

per ogni grado centigrado, così la precedente equivarrà alla:

$$(105) \quad v_1^2 = v^2 \frac{T}{273},$$

ponendo $T = 273^0 + t'$, cioè la temperatura contata dallo zero assoluto di calore.

Su la velocità del suono nell'aria ha pure influenza, benchè meno sensibile, la varia umidità di essa, giusta la relazione:

$$(106) \quad v'' = \frac{v}{\left(\sqrt{1 - \frac{5}{8} \cdot \frac{u}{b}} \right)}$$

dove v esprime la velocità del suono nell'aria secca ad una data

temperatura, e v'' la velocità nell'aria umida alla medesima temperatura, essendo $\frac{u}{b}$ il rapporto fra la tensione del vapore acqueo e la pressione barometrica.

Sperimentando in diversi luoghi e con pressioni barometriche assai differenti, si ebbero assai concordi risultati. Dal loro insieme si trae che la velocità del suono nell'aria secca ed alla temperatura della liquefazione del ghiaccio corrisponde a metri 332,35 (a).

La formola che esprime teoricamente la velocità v di propagazione del suono in un fluido aeriforme omogeneo, secondo Laplace, sarebbe:

$$(107) \quad v^2 = g \frac{e}{d} \cdot \frac{c}{c'},$$

posto $\frac{e}{d}$ il rapporto riscontrato fra la tensione del gas e la corrispondente sua densità, sotto una data condizione di pressione e di temperatura, essendo però espressa la densità del gas in relazione a quella del liquido (il mercurio) che s'adopera per misurarne la forza espansiva; $\frac{c}{c'}$ il rapporto fra il calore specifico a pressione costante ed a volume costante, e g l'intensità della gravità nel luogo ove si istituiscono le sperienze.

Da questa formola si rileva che la velocità del suono in un dato gas, almeno entro i limiti in cui la sua comprimibilità corrisponde prossimamente alla legge di Boyle (§ 92), non deve variare sensibilmente col variare della pressione (stando però costante la temperatura), poichè per esso il rapporto $\frac{e}{d}$ riesce costante. Questa illazione teorica fu verificata sperimentalmente per l'aria atmosferica, da che la velocità del suono in essa la si trovò indipendente dalla pressione barometrica, e di più si riscontrò che il suono si propaga nell'atmosfera con eguale velocità sia in linea orizzontale sia in linea verticale od obliqua, tanto ascendendo che discendendo.

E poco o punto influisce su codesta velocità la intensità e la direzione dei venti in riguardo alla direzione della propagazione del suono. Inoltre i diversi suoni ed i rumori si propagano, in un dato mezzo, con eguale velocità qualunque sia la loro intensità e la loro altezza, ovvero qualunque sia la durata delle vibrazioni del corpo sonoro.

(a) Le accurate prove di Martin e Bravais diedero met. 332,37, e quelle di Wertheim 332,30.

Variando però la natura del gas, varia non solo alcun po' il rapporto $\frac{c}{c'}$, ma assai più il rapporto $\frac{e}{d}$, il quale varia appunto in relazione al peso specifico dei diversi gas (§ 96), presi a 0° sotto la pressione d'un'atmosfera, ossia posto per tutti $e = 0^m, 76$. Quindi, in un dato luogo, la velocità di propagazione del suono nei gas secchi ed a 0° è data dalla formola:

$$(108) \quad v = 89^m, 40 \sqrt{\frac{g}{p} \cdot \frac{c}{c'}},$$

ritenendo $d = 0, 001293 \cdot p$ e posto p il loro peso specifico riferito a quello dell'aria (§ 96). Ed alla latitudine media, al livello del mare, posto $g = 9,8058$ (§ 50), si avrà:

$$(109) \quad v = 280, 0 \sqrt{\frac{c}{p c'}},$$

epperò la detta velocità riesce inversamente proporzionale alla radice quadrata del peso specifico d'ogni gas, e direttamente proporzionale alla radice quadrata del rapporto dei calori specifici di essi a pressione costante ed a volume costante, comunque poi varii in ciascun gas la pressione e quindi la densità, sempre però ne' limiti compatibili colla legge di Boyle.

Secondo Dulong, la velocità del suono nel gas acido carbonico, nell'ossigeno, nell'aria e nell'idrogeno, ben secchi ed a 0°, sarebbe rispettivamente $261^m, 6$; $317^m, 2$; $333^m, 0$; e $1269^m, 5$.

§ 145. Per calcolare teoricamente la velocità di propagazione del suono ne' liquidi e ne' solidi, Laplace e Young proposero la formola:

$$(110) \quad v^2 = g L,$$

ovvero la equivalente:

$$(111) \quad v^2 = \frac{g}{E},$$

nelle quali L indica la lunghezza in metri che aver deve un prisma retto, costituito colla sostanza in cui si considera propagarsi il suono, affinchè esso abbia un peso tale da ridurre doppia oppur nulla la lunghezza d'un dato prisma della medesima sostanza e con egual sezione trasversale, secondo che lo si suppone operare per trazione o per compressione; E esprime l'accorciamento che prova un prisma od un cilindro retto lungo $1^m, 0$, costituito dalla stessa materia e disposto col suo asse orizzontale (ove trattisi d'un liquido s'intende l'accorciamento d'una colonna orizzontale di tal liquido entro un tubo inestensibile), venendo compresso da un peso equivalente al suo peso.

Volendo applicare l'ultima delle citate formole ai solidi, per i quali si conosce il coefficiente e d'elasticità (§ 105), ossia quel peso in chilogrammi che vale ad accorciare di 0,0001 l'unità lineare del solido avente la densità d e la sezione di un millesimo dell'unità superficiale, bisognerà porre:

$$E = 0,0000001 \frac{d}{e},$$

posta d la densità relativa del solido: con ciò si avrà:

$$(112) \quad v^2 = 10.000.000 \, g \frac{e}{d}$$

Epperò la *velocità di propagazione del suono ne' diversi solidi è direttamente proporzionale alla radice quadrata del loro coefficiente di elasticità, ed inversamente proporzionale alla radice quadrata della loro densità relativa*, ovvero del loro peso specifico.

Sperimentalmente si determina la velocità v' del suono in un cilindro solido di data sostanza, mercè la relazione:

$$(113) \quad v' = v \frac{n'}{n},$$

che si dichiarerà più innanzi, ove n' esprime il numero delle vibrazioni corrispondente al suono fondamentale dato da tal cilindro, n il numero delle vibrazioni corrispondente al suono fondamentale dato da un tubo aperto di egual lunghezza contenente aria, e v la velocità del suono nell'aria alla temperatura in cui si sperimenta.

Wertheim riconobbe che anco ne' solidi varia [notevolmente] colla temperatura la velocità del suono. Nel più de' casi diminuisce, ma in altri (come nei fili di ferro e d'acciajo) essa aumenta, fino ad un certo limite, colla temperatura. Ecco alcuni valori da lui trovati a 20°:

Piombo	m. 1223,0	Rame	m. 3555,8
Oro	» 1742,5	Filo di ferro.	» 4916,4
Platino.	» 2686,8	Acciajo fuso.	» 4985,6
Argento	» 2707,0	Verga di ferro	» 5127,3

§ 146. Volendo poi applicare la equazione (111) a determinare teoricamente la velocità del suono nei liquidi, per i quali si conosce il coefficiente c della compressione (§ 133) relativo alla pressione d'una atmosfera, cioè d'una colonna d'acqua pura a 4° alta 10^m,333, ed espresso in milionesimi del volume primitivo, basterà porre:

$$E = \frac{c \, d}{10333}$$

e si avrà:

$$(114) \quad v^2 = 10333 \frac{g}{cd}.$$

Pertanto la *velocità del suono ne' differenti liquidi è inversamente proporzionale al prodotto delle radici quadrate del loro coefficiente della compressione e del loro peso specifico*: e per riguardo alle accennate variazioni del detto coefficiente in relazione alle variazioni nella temperatura (§ 133), può dirsi che coll'aumentare di questa, la velocità del suono crescerà nell'acqua pura, e diminuirà invece negli altri liquidi (a).

Qualora però si desuma la velocità v' del suono ne' liquidi dietro l'altra formola (113) suesposta per i solidi:

$$v' = v \frac{n'}{n},$$

oppure dietro la sua equivalente:

$$v' = l n',$$

dove sia n' il numero delle vibrazioni corrispondente al suono fondamentale dato da una colonna liquida di altezza l (in metri), si trovano valori sensibilmente inferiori a quelli dati dalla formola precedente.

Ciò dipende, secondo Wertheim, da che *nei liquidi vibranti non regge più il principio d'eguaglianza di pressione* (§ 77) che si verifica ne' liquidi in quiete, e che perciò nei liquidi, come nei solidi, il suono che si propaga liberamente in una massa indefinita, presenta una velocità maggiore di quando si propaghi in uno spazio limitato (come in una colonnetta cilindrica di liquido od in una verga solida) nel rapporto di:

$$\sqrt{\frac{3}{2}} : 1.$$

Con siffatta correzione riduconsi abbastanza concordi tra loro i valori dati dalle due formole e dall'esperienza.

Moto ondulatorio.

§ 147. Le vibrazioni che si effettuano dalle molecole d'un corpo elastico, nell'atto che dà un suono, ingenerano nell'aria, che gli sta

(a) Così per l'acqua pura a 0° ed a $10^{\circ},8$, assumendo i valori dati da Grassi, si ha rispettivamente per la velocità del suono in essa: $1419^{\text{m}},6$, e $1452^{\text{m}},6$. Colladon e Sturm, nell'acqua del lago di Ginevra a $8^{\circ},1$, trovarono sperimentalmente una velocità di $1434^{\text{m}},6$; che è appunto intermedia agli ultimi due precedenti valori. Per l'acqua satura di cloruro calcico a 23° si ebbe la velocità di metri 1979, e per l'alcole, alla stessa temperatura, met. 1159,5.

intorno, grazie alla comprimibilità ed elasticità di questa una serie di onde sferiche, alternativamente condensate e rarefatte, per l'invertirsi della direzione nel moto delle stesse molecole vibranti; però, atteso l'isocronismo delle vibrazioni medesime, tali onde hanno tutte le lunghezze tra loro eguali, restando queste immutate pur col variare dell'ampiezza delle successive vibrazioni.

Ad intendere codesta forma di propagazione delle onde sonore in un mezzo aeriforme, convien ricordare due principii più sopra esposti. Il primo è quello della conservazione delle forze vive, dimostrato pel caso dell'urto fra corpi perfettamente elastici (§ 42), il qual principio può applicarsi in pieno agli urti scambievoli fra le molecole dei fluidi aeriformi, che appunto ponno ritenersi perfettamente elastici (§ 116). L'altro principio riguarda la particolar forma di moto oscillatorio, che dicesi anche moto pendolare (§ 61), in quanto che il centro di massa del corpo vibrante, nel corso d'ogni oscillazione, offre una variazione continua nella propria velocità, poichè questa cominciando da un valor nullo (in uno dei punti estremi dell'arco descritto) procede gradatamente a valori crescenti sino ad un massimo (quando passa per la posizione d'equilibrio stabile per la gravità), per poi decrescere mano mano, sino a ritornar nulla (giungendo nell'altro punto estremo dell'arco di oscillazione), quando il verso del moto si inverte, dal salire allo scendere. E questa legge di movimento si ripete ad ogni oscillazione, e si manterrebbe con pieno isocronismo e con immutata ampiezza, se non fossero le resistenze passive del mezzo e dell'asse di rotazione.

Ora una forma affatto simile di movimento si verifica nei solidi elastici vibranti. Prendiamo a considerare il caso più semplice di una lamina elastica, un cui estremo stia fisso con un morsetto e l'altro venga deviato dalla posizione d'equilibrio, inflettendo la lamina stessa, per poi abbandonarla a sé (§ 131). Allora la reazione elastica alla flessione obbliga la lamina a ridursi alla forma primitiva, sollecitando con una velocità man mano crescente ogni punto deviato della lamina a ricondursi nella posizione d'equilibrio delle interne forze elastiche molecolari. Però ciascun punto giungendo in tal posizione con una velocità commisurata allo spostamento subito nell'atto della flessione, e questa velocità conservandosi nel punto stesso per inerzia, sarà sollecitato a passar oltre, facendo inflettere la lamina dalla banda opposta. Ma, nel far ciò, si susciterà di nuovo, e ciò con energia sempre crescente, la reazione elastica che eliderà grado a grado la velocità dianzi concepita, sinché questa diventerà nulla quando il punto stesso avrà deviato dalla opposta banda di quanto venne primamente deviato in contrario verso rispetto alla sua posizione d'equilibrio. S'avrà dunque ancor qui un moto oscil-

latorio con velocità continuamente variabile, nulla ai punti estremi dell'arco descritto, e massima nella posizione d'equilibrio; mentre la reazione elastica sarà nulla in questo punto e massima ai punti estremi.

Le stesse alternanze di velocità crescenti e decrescenti si verificheranno per tutti i punti di qualsiasi corpo elastico che in qualunque modo sia fatto vibrare così da dare un suono (§ 143).

Ora s'immagini un punto superficiale d'un solido elastico vibrante a contatto con una molecola d'aria dell'ambiente, nell'istante in cui esso, trovandosi ad uno degli estremi del suo arco di vibrazione, è privo di velocità. Però codesto punto, movendosi tosto dopo con una velocità finita, benché piccolissima, urterà di subito la detta molecola aerea, spingendola innanzi nella direzione del proprio movimento, sicché questa incontrando altra molecola d'aria farà passare a questa il proprio movimento, riducendosi ferma la prima; la seconda farà passare il suo moto alla terza, pur riducendosi alla quiete, e così per l'altre molecole che verranno successivamente a muoversi nella direzione del primitivo impulso, ed a fermarsi, siccome abbiám veduto sopra verificarsi in una serie di palle elastiche aventi masse tra loro eguali (pag. 52). Ma, in pari tempo, nel punto vibrante sarà cresciuta la velocità, sicché esso di subito urterà ancora la prima molecola aerea, e questa trasmetterà alle consecutive codesta maggior velocità, e così di seguito, sinché nel punto vibrante andrà aumentando la velocità di oscillazione, e quindi durante questa fase le molecole aeree sovraddette tenderanno ad accostarsi sempre più le une alle altre, aumentando la densità del mezzo. Però, da quell'istante incominciando la serie decrescente nel punto vibrante, verranno gradatamente diminuendo le impulsioni successivamente trasmesse da una ad altra molecola, fino a ridursi nulla quando il punto stesso sarà giunto all'altro estremo del suo arco di vibrazione: ed in tal altra fase andranno diminuendo gli accostamenti scambievoli delle molecole aeree, sino a rimettersi allo stato di primitiva densità. Ma raggiunta tal posizione estrema, il punto vibrante incominciando un moto di verso contrario al precedente, cioè tendendo esso a discostarsi sempre più, prima con velocità crescente, poi decrescente, come s'è detto sopra, le molecole d'aria dianzi addensate, tenderanno, per la lor propria tensione, a discostarsi più e più le une dalle altre, investendo lo spazio lasciato addietro dal ripetuto punto vibrante, e vi si precipiteranno con velocità dapprima crescente e quindi decrescente. Insomma al primo atto di condensazione succederà un atto di rarefazione, toccando l'aria un minimo di densità quando massima sarà la velocità nel punto vibrante.

Pertanto, ad ogni escursione in un verso, corrisponderà un periodo

di condensazione nel mezzo fluido, e ad ogni escursione in verso opposto risponderà un periodo di rarefazione, la cui durata sarà eguale a quella del primo, ritenendo isocrone le vibrazioni del punto smosso.

E ciò che abbiain detto per un punto del corpo vibrante e per un filetto di molecole d'aria vale per tutti i filetti d'aria che ad esso stanno intorno e che risentono delle sue fasi di moto vibratorio, cioè nell'aria involgente si determinerà una serie di onde di condensazione e di onde di rarefazione, le quali andranno successivamente trasmettendosi per isfere a distanze maggiori, riducendosi in quiete mano mano le onde precedenti.

In ogni caso poi la lunghezza di siffatte onde corrisponderà allo spazio che il suono può percorrere nell'aria nella durata di ciascuna vibrazione: epperò coi suoni di diversa altezza, le lunghezze delle onde saranno inversamente proporzionali ai numeri delle vibrazioni che in un dato tempo si compiranno dai singoli corpi che producono i suoni medesimi, ossia, in generale, la lunghezza l dell'onda sarà data dalla relazione:

$$(115) \quad l = \frac{v}{n},$$

posto n numero delle vibrazioni fatte dal corpo sonoro in l'' di tempo, e v la velocità del suono nell'aria.

È per mezzo di siffatte onde aeree che il suono si diffonde, come già si disse, con moto equabile (a) ed in isfera attorno al corpo vibrante.

Però l'intensità del suono percepito in un dato punto andrà decrescendo proporzionatamente ai quadrati delle distanze di esso dal corpo sonoro; perciocchè la stessa energia vibratoria, diffondendosi in onde aventi una crescente superficie (proporzionalmente sempre ai quadrati dei rispettivi raggi), l'intensità di essa in ciascun punto decrescerà nella medesima proporzione.

Che se molti e tra loro discosti sono i gruppi di molecole vibranti di un dato corpo, oppur se in varii punti dello spazio sonvi de' corpi vibranti contemporaneamente, si formeranno intorno a ciascun d'essi analoghi sistemi di onde, i quali si propagheranno gli uni attraverso gli altri senza confondersi, cioè senza modificare la direzione, la

(a) Ma in ciascheduna onda aerea le particelle costituenti un dato raggio sonoro vengono successivamente smosse con velocità variabile, minima a ciascun estremo dell'onda, massima al punto di mezzo della sua lunghezza, appunto in corrispondenza alle variazioni nella velocità delle molecole del corpo elastico vibrante, come s'è detto sopra. Però la direzione negl' impulsi al moto che riceve e trasmette ciascuna molecola nell'onda rarefatta sarà in verso contrario a quella che è nell'onda condensata.

lunghezza e la velocità delle singole onde e degli scuotimenti elementari in ciascun'onda (a). Questi scuotimenti e queste onde cessano poi nell'aria, tosto che s'estinguono le vibrazioni nel corpo sonoro, per la ragione sovra esposta che nella trasmissione di un urto fra corpi elastici di egual massa, ogni molecola che entra in moto in una data direzione riduce in quiete la molecola precedente.

In un modo analogo a quello or accennato per l'aria, si propaga il suono in qualunque altro mezzo omogeneo, purché sia tal poco compressibile ed elastico.

La *intensità* d'un suono, ossia la chiarezza e la vigoria della sensazione ch'esso eccita in noi, non dipende soltanto dalla distanza del corpo sonoro e dall'ampiezza delle sue vibrazioni, ma altresì dalla



Fig. 100.

densità che ha il mezzo nel sito ove si promuove il suono, dalla tranquillità o dalla direzione delle agitazioni del mezzo trasmettente il suono, e dalla risuonanza di altri corpi situati in prossimità del corpo sonoro.

Quando poi un suono si propaga nell'aria limitata entro un tubo cilindrico di poca larghezza e senza ripiegature, l'intensità di esso non diminuisce sensibilmente che a grandi distanze: e da ciò l'uso de' così detti *tubi parlanti*, coi quali si trasmettono le voci da uno ad altro locale d'un edificio, e dei *telefoni*, che servono ai naviganti a farsi udire in distanza.

Riflessione e rifrazione dei suoni.

§ 148. Quando le onde sonore, che si propagano in un fluido elastico, incontrano la superficie di un solido o la superficie di separa-

(a) Questo fatto, che si verifica sperimentalmente anche nelle onde suscitate da varii punti di una superficie d'acqua stagnante, riposa su un principio meccanico, che Daniele Bernoulli dimostrò pel primo nel 1753, sotto nome di principio della *coesistenza delle piccole vibrazioni*. Esso così si enuncia: Se ad un sistema di corpi o di punti materiali elastici si imprimono contemporaneamente differenti movimenti molto piccoli, che li spostino momentaneamente dalle loro posizioni di equilibrio stabile, tutti questi movimenti, non che le vibrazioni da essi originate, si effettuano senza alterarsi reciprocamente.

zione con un altro fluido di differente densità, vengono, almeno in parte, rimbalzate giusta le leggi dinamiche della riflessione de' corpi elastici (§ 32). Perciò, chiamando *raggio sonoro* una qualunque retta a seconda della quale propagasi il suono, sia dal centro di scuotimento ad un punto della superficie riflettente, sia da questa ad un punto dello spazio situato rispetto all'ostacolo dalla stessa banda del centro medesimo, può dirsi che *il raggio riflesso ed il raggio incidente sono situati in uno stesso piano, perpendicolare alla superficie riflettente nel punto d'incidenza, e formano colla normale corrispondente a questo medesimo punto due angoli tra loro eguali.*

Quando l'ostacolo presenta una superficie regolare, piana o curva, sicchè le onde riflesse abbiano una sufficiente intensità da produrre la sensazione d'un suono, e quando l'ostacolo si trova ad una bastevole distanza da potersi aver la sensazione del suono riflesso distinta da quella del suono diretto, si ha un *eco*. A percepire distintamente due suoni, devono essi succedersi coll'intervallo di almeno un decimo di 1'' di tempo; e per la distinta percezione d'una sillaba richiedesi all'incirca un quarto di 1''.

Dietro questi principii è facile dar spiegazione degli echi semplici, polisillabici e multipli; delle sale o gallerie dette parlanti; del più conveniente addobbo per le sale molto ampie e per i teatri; dell'ufficio delle conche applicate ai telefoni ed ai cornetti acustici; dell'indebolimento dei suoni durante il giorno a confronto colla notte, e nei giorni nebbiosi a confronto dei dì sereni; del lungo rimbombare del tuono e delle scariche d'artiglieria in alcune convalli, e di tanti altri fenomeni analoghi.

§ 149. I *raggi sonori, passando da uno ad altro mezzo di maggiore densità, subiscono un' inflessione* analoga a quella subita dai raggi luminosi in pari condizione, e *conosciuta sotto nome di rifrazione*. Hayech e poscia Sondhauss s'adoperarono a dimostrare sperimentalmente questo fatto. Ad esempio, si sospende nell'aria un palloncino di *collodion*, pieno di gas acido carbonico, il quale per la maggior sua densità, potrà così operare sui raggi siccome fa una lente biconvessa sui raggi luminosi, cioè i raggi che cadranno su una faccia paralleli all'asse od anche divergenti, all'escire dalla banda opposta, appariranno fortemente convergenti; talchè, disponendo un oriuolo da tasca da una banda ed a poca distanza dal pallone e dall'altra l'apertura conica di un imbuto, sostenuto così che il prolungamento del suo asse passi pel centro del pallone e pel centro dell'orinolo, dietro pochi tentativi, col mutare la distanza dell'imbuto al cui vertice si applica l'orecchio, si giunge a trovare il punto di convergenza dei raggi sonori rifratti, dove il battito dell'orinolo si ascolta più spiccato, che non riesca accostando anche maggiormente l'imbuto all'orinolo.

Altezze dei suoni.

§ 150. In un suono musicale, oltre l'intensità, distinguonsi altre due qualità, l'altezza ed il metallo.

L'altezza d'un suono — e fu il primo Galileo a dimostrarlo — dipende unicamente dalla durata delle vibrazioni fatte dal corpo sonoro, ossia dal numero di vibrazioni ch'esso compie in un dato tempo, per es. nella durata di 1".

Diconsi d'uguale altezza od *unisoni*, quei suoni che corrispondono a vibrazioni di eguale durata. Quando le vibrazioni sono rapidissime, cioè di brevissima durata, diconsi *acuti*, e *gravi* invece se sono lente affatto o più durevoli; però l'acutezza o la gravezza d'un suono è qualità relativa e convenzionale.

Il *metallo* (*timbre* dei Francesi) è quella qualità per cui facilmente si differenziano gli uni dagli altri suoni prodotti da diversi stromenti o da differenti corpi elastici, quantunque abbian tutti la stessa altezza e la medesima intensità. Sembra essa dipendere dalla costituzione molecolare, dalla figura e dalle dimensioni del corpo sonoro; ma soprattutto dalla qualità ed altezza dei suoni armonici che esso è atto a produrre insieme col suono principale, siccome si dirà innanzi e siccome venne dimostrato da Helmholtz.

§ 151. Dalle corde elastiche, tese fra due punti fissi, si ottengono suoni tanto colle *vibrazioni trasversali*, che si effettuano nella direzione perpendicolare alla loro lunghezza, quanto colle *vibrazioni longitudinali* che si verificano nel senso stesso della loro lunghezza. Le prime si eccitano pizzicando le corde o sfregandole con un archetto perpendicolarmente al loro asse, le altre sfregandole longitudinalmente con un pezzo di stoffa ruvida, oppur cosparsa di colofonia in polvere.

Diversi sono i suoni prodotti da una stessa corda con questi due modi di vibrazione, e diverse sono le leggi delle corrispondenti vibrazioni. Nel maggior numero degli strumenti musicali da corda i suoni sono promossi dalle vibrazioni trasversali. Quindi ci occuperemo in ispecial modo di queste.

Nelle corde elastiche le vibrazioni trasversali per varie maniere si riducono di diversa durata, e quindi si hanno suoni di diversa altezza: col variare la loro lunghezza, la grandezza della forza traente che determina in esse la tensione, la loro grossezza ed il peso specifico della materia di che sono costituite.

Galileo seppe accennare non solo, ma determinare anche per bene

i rapporti di tutti questi elementi del fenomeno (a), talchè fu poi agevole per l'inglese Taylor, nel 1715, il riassumere tutte le leggi delle vibrazioni trasversali delle corde elastiche sotto la formola:

$$(116) \quad t = \sqrt{\frac{pl}{gP}},$$

nella quale t esprime la durata d'una vibrazione semplice della corda, cioè l'intervallo di tempo che deve trascorrere perchè ogni punto vibrante di essa passi da un estremo della sua escursione all'estremo opposto; l la lunghezza della corda vibrante, cioè di quella parte di essa che è compresa fra i due punti fissi; p il peso assoluto dell'anzidetta parte della corda; P il peso che produce in essa la tensione e che ne serve di misura, e g l'intensità della gravità.

Per le corde cilindriche essendo $p = p'l$, ove p' denoti il peso assoluto di una porzione della corda corrispondente all'unità di lunghezza, la formola precedente diventa:

$$(117) \quad t = l \sqrt{\frac{p'}{gP}},$$

dalla quale si desume che *le durate delle vibrazioni di due differenti corde, vibranti in un medesimo luogo, sono direttamente proporzionali alle loro lunghezze ed alle radici quadrate dei pesi d'ogni loro unità di lunghezza, ed inversamente proporzionali alle radici quadrate delle forze traenti.*

(a) Così dice egregiamente Galileo: « Tre sono le maniere colle quali possiamo inacutire il tuono ad una corda: l'una è lo scorciarla, l'altra il tenderla più, e la terza è l'assottigliarla. Ritenendo la medesima tensione e grossezza, se vorremo sentir l'ottava, bisogna scorciarla la metà. Ma se, ritenendo la medesima lunghezza e grossezza, vorremo farla montare all'ottava col tirarla più, converrà attaccarvi un peso quadruplo. E finalmente, stante la medesima lunghezza e tiratezza, se vorremo una corda che per essere più sottile renda l'ottava, sarà necessario che abbia solo la quarta parte della grossezza dell'altra più grave.

« Ma quest'ultima maniera d'inacutire un suono con più verità che alla grossezza deve attribuirsi al peso. Imperocchè la detta alterazione dei suoni presa dalla grossezza risponde quando le corde siano della medesima materia, come prendendo diverse minugie. Ma se vorrò far l'ottava con una corda di ottone od una minugia, non si ha da ingrossarla quattro volte, ma sibbene farla quattro volte più grave. E questo che dico dell'ottava intendasi di tutti gli altri intervalli musici ».

« Ma la ragione prossima ed immediata delle forme degli intervalli musici non è la lunghezza delle corde, non la tensione, non la grossezza o il peso, ma sibbene la proporzione dei numeri delle vibrazioni e percosse delle onde dell'aria, che vanno a ferir il timpano del nostro orecchio, il quale esso ancora sotto le medesime misure di tempi vien fatto tremare. »

Se poi si pone che n sia il numero delle vibrazioni trasversali semplici compite da una corda nella durata di l'' di tempo, avendosi:

$$t = \frac{1}{n},$$

sarà anche in generale:

$$n = \sqrt{\frac{gP}{pl}}.$$

E per una corda cilindrica, posto r il raggio della corda e d la di lei densità ossia il peso specifico della sostanza ond'è formata, s'avrà:

$$(118) \quad n = \frac{1}{lr} \sqrt{\frac{P}{\pi d}},$$

la qual formola ci indica che i numeri delle vibrazioni fatte in tempi eguali da due differenti corde sono in ragione diretta delle radici quadrate dei pesi che le tendono, in ragione inversa delle loro lunghezze e dei loro diametri, non che delle radici quadrate dei loro pesi specifici.

Riguardo alle vibrazioni longitudinali di una corda, Poisson trovò col calcolo, e Savart verificò coll'esperienza, il seguente rapporto colle di lei vibrazioni trasversali. Siano n' ed n i numeri delle vibrazioni fatte in eguali tempi, quand'essa vibra in tutta la sua lunghezza l , cioè quando dà il suono più grave, ora vibrando nell'uno ed ora nell'altro dei detti due modi, e sia a l'allungamento ch'essa subisce sotto il peso che la tende; sarà:

$$n' = n \sqrt{\frac{l}{a}}.$$

E poichè a è sempre una quantità piccolissima rispetto ad l , sarà n' molto più grande di n , ossia il suono corrispondente alle vibrazioni longitudinali sarà assai più acuto di quello dato dalle vibrazioni trasversali. Dalla medesima formola si rileva altresì che sul'altezza dei suoni dati dalle vibrazioni longitudinali aver deve una speciale influenza il coefficiente d'elasticità delle singole corde: laddove nelle vibrazioni trasversali l'altezza dei suoni dati dipende unicamente, come s'è detto, dalla tensione, dalle dimensioni della corda e dal di lei peso; ed il coefficiente d'elasticità ha influenza invece su l'ampiezza delle vibrazioni medesime, e fors'anco sul metallo dei suoni.

Scala musicale.

§ 152. Si suole denominare *scala musicale diatonica* una serie di suoni di altezze crescenti, e separati gli uni dagli altri da intervalli

d'una determinata grandezza; e dicesi *intervallo* o *tuono*, il rapporto che esprime l'altezza relativa di due suoni. In cotesta serie, ad ogni periodo di sette suoni, si riproducono i medesimi intervalli; e ciascun periodo chiamasi *gamma* o *solfa* ed i singoli suoni d'una *gamma* diconsi *note*, e si contrassegnano colle voci *do, re, mi, fa, sol, la, si*.

Le sette note di una data gamma, unitamente alla prima nota della gamma successiva, cioè più alta, costituiscono una *ottava*, in quanto che l'intervallo fra il *do* ed il *re* denominasi una *seconda*, quello fra il *do* ed il *mi*, una *terza*, ecc., e quello fra il *do* ed il *do* della gamma seguente un' *ottava*.

Col mezzo d'un apparecchio chiamato *monocordo* o *sonometro* è facile rilevare col situare in diverse posizioni un piccolo cavalletto mobile, a quali minori lunghezze si debba successivamente ridurre

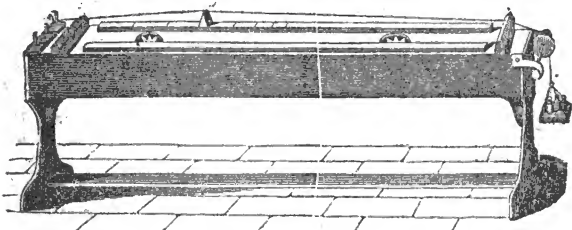


Fig. 101.

una data corda, soggettata ad una tensione costante, onde avere le altre consecutive note di quella gamma, il cui *do* corrisponde al *suono fondamentale* della corda stessa, cioè a quel suono più grave ch'essa produce quando vibra in tutta la sua lunghezza.

Riferendo poi le singole lunghezze trovate per ciascuna nota alla lunghezza che presenta la corda lorchè dà il suono fondamentale, e che si assume per unità, si avranno le così dette *lunghezze relative* della corda, rispondenti alle singole note della gamma medesima.

E sapendosi che i numeri delle vibrazioni fatte da una corda d'individuata natura, di data grossezza, e tesa da un determinato peso, sono inversamente proporzionali alle lunghezze delle porzioni di essa che son fatte rispettivamente vibrare, si possono dedurre dalle dette lunghezze relative i rapporti che sussistono tra i numeri delle vibrazioni corrispondenti alle diverse note della stessa gamma, i quali diconsi anco *numeri relativi delle vibrazioni* per le note medesime. E dicesi poi *intervallo* o *tuono* tra due date note il rapporto tra i numeri relativi delle vibrazioni delle stesse note.

Qualunque sia la lunghezza della corda rispondente al suono fondamentale, e qualunque sia la grossezza, la tensione e la densità di essa, e quindi qualunque sia l'altezza del suono che si prende per *do* fondamentale della gamma, sempre egualmente si verificano i seguenti rapporti:

<i>Note</i>	<i>do</i>	<i>re</i>	<i>mi</i>	<i>fa</i>	<i>sol</i>	<i>la</i>	<i>si</i>	<i>do</i>
<i>Lunghezze relative della corda</i>	1	$\frac{8}{9}$	$\frac{4}{5}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{3}{5}$	$\frac{8}{15}$	$\frac{1}{2}$
<i>Numeri relativi delle vibrazioni</i>	1	$\frac{9}{8}$	$\frac{5}{4}$	$\frac{4}{3}$	$\frac{3}{2}$	$\frac{5}{3}$	$\frac{15}{8}$	2
<i>Intervalli o tuoni</i>		$\frac{9}{8}$	$\frac{10}{9}$	$\frac{16}{15}$	$\frac{9}{8}$	$\frac{10}{9}$	$\frac{9}{8}$	$\frac{16}{15}$

La gamma successiva, la quale avrebbe principio coll'ottava del suono *do* della precedente, sarebbe tale che le singole sue note corrisponderebbero a lunghezze rispettivamente eguali alla metà delle lunghezze delle analoghe note della prima; epperò i numeri delle vibrazioni per tali suoni sarebbero rispettivamente doppij. E così di seguito per le successive gamme più acute.

Dal suesposto quadro si rileva che tra le otto note d'una ottava sonvi soltanto tre diversi intervalli: il più grande $\frac{9}{8}$ chiamasi *tuono maggiore*, il secondo $\frac{10}{9}$ *tuono minore*, ed il più piccolo $\frac{16}{15}$ *semi-tuono maggiore*. L'intervallo poi fra il tuono maggiore ed il tuono minore $\frac{81}{80}$ è detto *comma*, giacchè è il più piccolo che si considera nella musica, richiedendosi un orecchio ben addestrato per rilevarlo e ritenendosi come unisoni quei suoni il cui intervallo sia minore di quest'ultimo.

§ 153. Due suoni che prodotti simultaneamente danno una grata sensazione costituiscono un *accordo* od una *consonanza*. È notevole che i più soavi accordi sono quelli di ottava, di quinta, di quarta e di terza, che si ottengono producendo insieme la 1.^a e l'8.^a, la 1.^a e la 5.^a, la 1.^a e la 4.^a, la 1.^a e la 3.^a nota d'una gamma, e pei quali si verificano i più semplici rapporti fra i numeri relativi delle vibrazioni delle due note, cioè 1: 2; 2: 3; 3: 4 e 4: 5 (a).

(a) È rimarchevole il passo in cui Galileo rende ragione degli accordi musicali, in seguito a quanto si espone nella nota a pag. 188. « Fermato questo punto, continua egli, potremo assegnare congrua ragione, onde avvenga che de' suoni differenti alcune coppie siano con gran diletto ricevute dal nostro sensorio, altre ci feriscano con grandissima molestia; che è il cercar la ra-

Conosciuti i numeri relativi delle vibrazioni delle singole note, si conosceranno pure i *numeri assoluti* delle vibrazioni corrispondenti alle note medesime, non appena che siasi determinato il numero assoluto di vibrazioni per una qualunque di esse.

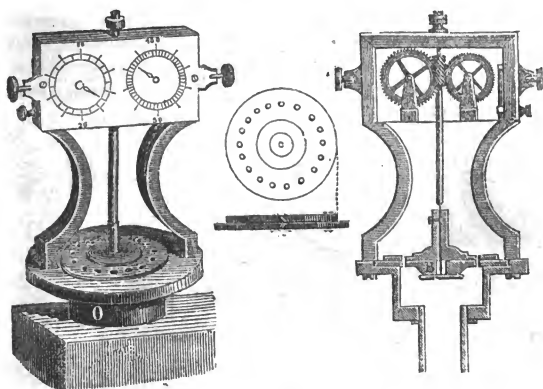


Fig. 102.

Questa determinazione può ottenersi per via teorica dalla suesposta formola di Taylor, o semplicemente dalla relazione che sussiste tra

gione delle consonanze più o meno perfette e delle dissonanze. La molestia di queste nascerà, cred'io, dalle discordi pulsazioni di due diversi tuoni che sproporzionatamente colpeggiano sopra il nostro timpano, e crudissime saranno le dissonanze quando i tempi delle vibrazioni fossero tra loro incommensurabili. Consonanti e con diletto ricevute saranno quelle coppie di suoni che verranno a percuotere con qualche ordine sopra il timpano; il quale ordine ricerca prima che le percosse fatte dentro all'istesso tempo siano commensurabili di numero, acciocchè la cartilagine del timpano non abbia a stare in un perpetuo tormento d'infietersi in due diverse maniere, per acconsentire alle sempre discordi battiture. Sarà dunque la prima e la più grata consonanza l'ottava; essendo che per ogni percossa che dia la corda grave su il timpano, l'acuta ne dà due; talchè amendue vanno a riferire unitamente in una sì, nell'altra no delle vibrazioni della corda acuta; sicchè di tutto il numero delle percosse due terze parti giungon sempre tutte assieme, epperò son come di una corda sola, e fanno consonanza. La quinta diletta ancora, attesochè per ogni due pulsazioni della corda grave l'acuta ne dà tre, dal che seguita che, numerando le vibrazioni della corda acuta, la terza parte di tutte si accordano a battere insieme; cioè due solitarie s'interpongono tra ogni coppia delle comuni. Nella quarta se ne interpongono tre. »

le lunghezze ed i numeri delle vibrazioni d'una corda. Ma la si può ottenere per diversi mezzi sperimentali. Tali sono: la sirena di Cagnard-Latour (fig. 102), mercè i giri di un asse mosso da un sistema di due dischi a pertugi, pei quali si fa effluire l'aria contenuta in una cassa; la ruota dentata di Savart (vedi addietro fig. 96, a pag. 239), e la traccia segnata da un corpo vibrante su la superficie annerita d'un cilindro, fatto ruotare con velocità costante (fig. 103).

Usando colle dovute cautele ciascuno di questi diversi mezzi per valutare il numero delle vibrazioni rispondente ad un dato suono, si hanno risultati che tra loro differiscono di ben poco.

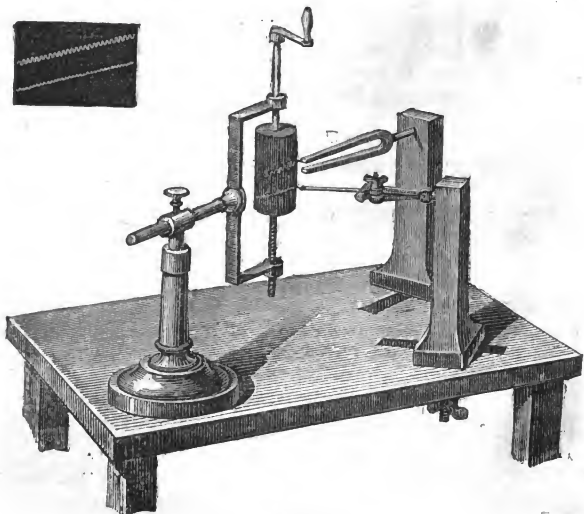


Fig. 103.

Nella musica suolsi assumere per gamma fondamentale quella il cui *do* corrisponde al suono più grave del violoncello e del gravicembalo; e le note di questa gamma si contrassegnano coll'indice 1, mentre si pongono gli indici 2, 3, 4, 5, ecc. alle note delle gamme successivamente più alte, e gli indici - 1, - 2, a quelle delle gamme più gravi della predetta. Il *do* di questa gamma è tal suono per cui si devono fare dalle parti del corpo che lo producono 128 vibrazioni semplici nella durata di 1" di tempo; ed il suono dato dal *corista*,

o *diapason*, che serve ad intonare gl'istrumenti musicali, e che deve dare il la_3 , corrisponde a 435 vibrazioni doppie, ossia ad 870 vibrazioni semplici (a).

Gli organi da chiese sono strumenti, la cui scala è tanto estesa da abbracciare tutta questa serie di suoni. La voce dell'uomo può emettere vari suoni che ordinariamente comprendono due ottave; mentre la voce della donna comprende una scala più estesa di suoni, ma in genere più acuti (b).

Vi sono pure alcuni limiti nei suoni percepibili dall'udito umano: d'ordinario non si percepiscono suoni più gravi del do_{-2} , nè più acuti del do_8 ; ma quando si possa dar loro molta intensità, riesce possibile di percepire suoni corrispondenti al do_{-3} , cioè a sole 16 vibrazioni, e suoni acutissimi rispondenti a 48 mila vibrazioni semplici in 1'', come trovò Savart. Posteriori ricerche di Helmholtz assegnano pel limite inferiore dei suoni percepibili 16 vibrazioni complete e 38 mila pel limite superiore.

Conoscendosi poi i numeri delle vibrazioni corrispondenti ai diversi suoni, si otterranno le *lunghezze delle onde*, che ciascun d'essi genererà nell'aria, dividendo la velocità del suono nell'aria per il rispettivo numero delle vibrazioni, fatto il debito conto per l'influenza della varia temperatura su questa velocità (§ 144).

Risonanza.

§ 154. Quando una corda è in atto di vibrazione, e segnatamente se è lunga e grossa, oltre al suono fondamentale, produce altri suoni che diconsi armonici con esso, e che corrispondono a tali numeri di vibrazioni, che riferiti al numero delle vibrazioni del suono fondamentale, preso per unità, costituiscono una serie corrispondente a quella dei numeri naturali 1, 2, 3, 4, 5, ecc. Se ne inferisce che la corda non solo vibra in tutta la sua lunghezza, ma

(a) Alcuni po' tra loro diverse erano le altezze dei suoni dati dai *coristi* usitati nelle orchestre dei teatri de' diversi paesi, e quindi non erano tra loro esattamente unisone le singole note delle corrispondenti gamme formate su queste differenti basi. Però codeste differenze vennero tolte da che (1859) una Commissione internazionale stabilì che il corista *normale* dovesse fare il suindicato numero di vibrazioni per minuto secondo.

(b) Si possono ritenere come limiti ordinari per le note date colla voce dai cantanti i seguenti valori, secondo Blasirna.

Per la voce d'un basso	da 82 (mi_1)	a 293 (re_3).	vibraz. complete.
id. tenore	da 109 (la_1)	a 370 (fa_3 <i>diésis</i>).	
id. contralto	da 164 (mi_1)	a 696 (fa_3).	
id. soprano	da 218 (la_1)	a 1044 (do_4).	

altresi nelle sue parti che corrispondono a dei summultipli esatti della lunghezza medesima, cioè ad $\frac{1}{2}$, ad $\frac{1}{3}$, ad $\frac{1}{4}$, ad $\frac{1}{5}$, ecc., di questa, ciascuna delle quali compie le sue vibrazioni, senza distur-

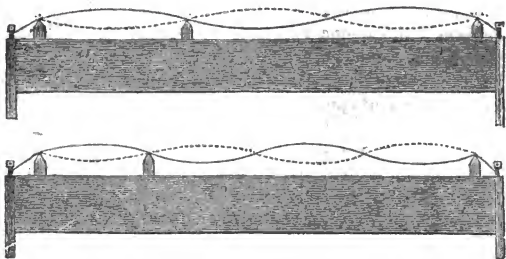


Fig. 104.

bare quelle delle altre. Epperò nella corda vibrante vi saranno alcuni punti che non parteciperanno a taluni di questi parziali movimenti, chiamati *nodi*, ed altri che compiranno più ampie escursioni, chiamati *ventri*.

Questo fatto può mettersi in evidenza col mezzo di listerelle di carta, sottili e strette, e piegate ad angolo nel mezzo, le quali sono disposte a cavalcioni della corda, innanzi farla vibrare; talune sui punti corrispondenti ai ventri dei suoni armonici e tal altre sui nodi, avendo cura che sia diverso il colorito delle une e delle altre. Facendo allora vibrare la corda in tutta la sua lunghezza, così da produrre il proprio suono fondamentale, le listerelle poste sui ventri saranno sbalzate lungi, mentre quelle dei nodi o rimarranno in posto, o di poco si smuoveranno.

D. Bernoulli spiegò questo fenomeno dietro il principio meccanico succennato della coesistenza delle piccole vibrazioni.

D'altra parte quando in prossimità d'una corda vibrante se ne trovino altre, nelle condizioni che vibrando in tutta la loro lunghezza o dividendosi in parti aliquote di essa possono dare un suono unisono con quello prodotto da detta corda, oppure suoni armonici con questo, entrano pur esse in vibrazione, e quindi rinforzano il suono principale. Questo fatto è conosciuto sotto il nome di *risuonanza* delle corde, e può verificarsi col monocordo, disponendo su di esso due corde con tali diverse lunghezze, oppur tese di tal modo, da dare l'una un suono armonico coll'altra. Facendo vibrare la prima si che

dia intenso e durevole il proprio suono, l'altra entrerà pure in vibrazione. Oppure, pronunciando con forza una nota musicale al di sopra d'un gravicembalo aperto, si ascolteranno vibrare da loro le corde atte a dare l'unisono di tal nota e le più semplici sue note armoniche.

§ 155. Helmholtz giunse ad analizzare i suoni composti per mezzo di certi apparecchi molto semplici, chiamati *risonatori*. Sono sfere cave di diverso diametro, munite di due opposte aperture, l'una delle quali s'adatta all'orecchio, e l'altra è volta al punto di provenienza del suono. Se questo è, per avventura, all'unisono di quello che una data sfera vale a produrre colla vibrazione dell'aria rinchiusa in essa, 'il suono sarà percepito con notevole rinforzo; altrimenti, se il suono dato è più o meno alto, il risonatore rimane muto. L'altezza dei suoni dati da siffatte sfere va decrescendo coll'aumentare del loro diametro.

Si può anche adattare alla prima di dette aperture del risonatore un tubo flessibile, terminante in un imbuto, presso il quale



Fig. 105.



Fig. 106.

disponendo una fiamma a gas, questa rimarrà cheta, oppure si comoverà, secondo che il risonatore zittirà, oppure risponderà al suono prodotto.

Disponendo in serie su opportuna cassa molti risonatori di diverso diametro, e quindi rispondenti a suoni diversi, aventi tra loro noti rapporti; facendo comunicare l'interno di ciascun d'essi con apposita fiamma, e situando le varie fiamme in prossimità di uno specchio, suscettivo d'essere ruotato rapidamente, si potrà, come fece Helmholtz, fare l'analisi di un suono complesso. Poichè, osservando le immagini delle fiamme riflesse dallo specchio, si potrà conoscere se e quali risonatori entrino in vibrazione sotto la influenza di tal suono: a ciascuno di essi corrisponderà uno de' suoni elementari o componenti dello stesso suono risultante, i quali sono sempre gli armonici di questo.

Con siffatto artificio l'Helmholtz giunse a dimostrare che il metallo

(§ 123) dei suoni dati dai varii strumenti musicali dipende dal numero e dall'intensità relativa dei suoni armonici che si producono insieme col rispettivo suono fondamentale. Gli strumenti a corda

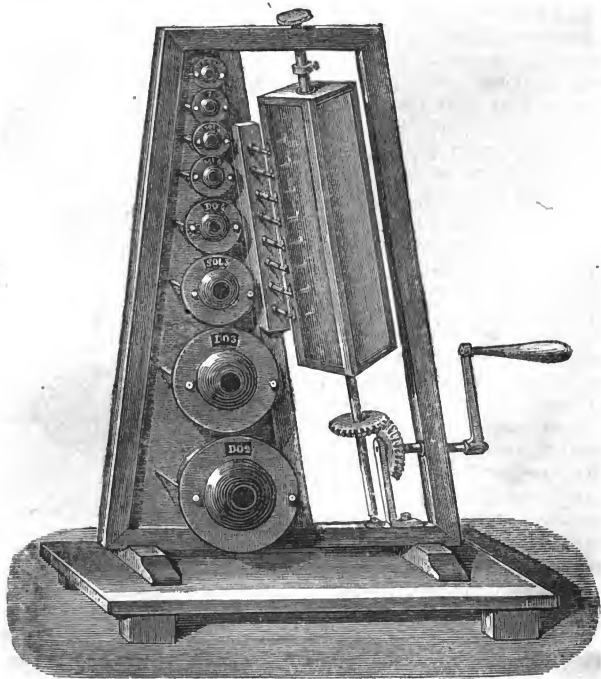


Fig. 107.

sono i più ricchi di armonici elementari: invece il flauto dà suoni con pochi o punti armonici.

In simil modo l'Helmholtz trovò che il vario metallo delle voci umane dipende dalla varia ricchezza degli armonici prodotti dalla risonanza delle varie parti dell'organo vocale e della cavità boccale, come diremo innanzi. Egli trovò altresì che a produrre una data vocale richiedesi l'aggiunta al suono fondamentale di una o più note

caratteristiche, ch'egli chiama *vocabili*. Queste poi variano col mutar la sillaba che si pronunzia, ma sono indipendenti dall'altezza del suono e dalla persona che lo produce.

§ 156. Qualunque solido elastico, sia poi foggiato in verga cilindrica od in lastra parallelepipedica, può dar origine, al pari delle corde, a due sorta di suoni, prodotti cioè da vibrazioni longitudinali, o da vibrazioni trasversali, le quali si promuovono in modi analoghi a quelli accennati per le corde. Ed ancor qui interessa di più il conoscere le leggi delle vibrazioni trasversali.

Si osserva però che l'altezza dei suoni, che in tal caso i solidi ci ponno dare, varia non soltanto col variare della figura, delle dimensioni e della natura dei solidi, ma ancora col mutare, come suol dirsi, il *modo* di vibrazione, cioè col mutare rispetto alle diverse parti della superficie d'ogni corpo la situazione ed il numero dei punti fissi o di semplice appoggio, oppure la situazione del punto d'applicazione del corpo strisciante (di ordinario l'archetto) che suscita le vibrazioni, come pure col premer questo con diversa forza o rapidità. Imperocchè, variando coteste circostanze, un dato corpo elastico si divide in diverso numero di parti, di varia estensione e figura, vibranti separatamente le une dalle altre, sì da esser tra lor limitate da *linee nodali*, cioè da alcune serie di punti che sembran tenersi in quiete: però quanto meno estese riescono siffatte parti vibranti, e quindi più spesse le linee nodali, tanto più alto è il suono che ne risulta.

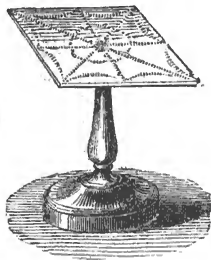


Fig. 108.

Pertanto si denomina suono fondamentale di una verga o d'una lastra il suono più grave ch'essa può dare, vibrando insieme in tutta la sua estensione, ed essendo un solo il punto fisso e situato ad un estremo di essa, sicchè si formi una sola linea nodale in prossimità di tal punto: è questo il primo modo di vibrazione. E così ogniqualevolta cambia il numero delle linee nodali, dicesi mutato il nodo di vibrazione.

Le vibrazioni e le linee nodali si mettono in facile evidenza nelle lamine metalliche o vitree tenute con apposite morsette. cospergendole di minuta arena, la quale, cacciata dalle parti più estesamente vibranti, s'adagia sulle parti meno smosse (a).

(a) Merita ricordo quanto disse Galileo, studiando alcuni modi di queste vibrazioni. « Il caso mi condusse, così egli, ad osservare un mezzo per poter

I corpi rigidi aventi una sola dimensione molto piccola rispetto alle altre due, come le membrane e le sottili lamine, qualunque sia la loro sostanza e la loro figura, possono vibrare in un gran numero di modi, e quindi produrre una serie di svariatissimi suoni. E qui pure si osserva che la estensione delle parti vibranti si rende tanto minore e quindi maggiore il numero delle linee nodali, quanto più acuto riesce il suono.

Del resto le leggi concernenti le lamine vibranti trasversalmente corrispondono a quelle or indicate per le verghe. Quando la forma, la materia ed il modo siano eguali, i numeri delle vibrazioni sono in ragione diretta della grossezza, ed in ragione inversa dei quadrati di ciascuna delle altre due dimensioni. Se la materia è diversa, poste l'altre cose pari, i detti numeri sono in ragion diretta delle radici quadrate della rigidità ed inversa delle radici quadrate del peso specifico.

Le membrane tese rendono un suono tanto più acuto quanto maggiore è la tensione e minori sono le dimensioni della loro superficie. Epperò esse vibrano anche sotto l'influenza delle onde aeree corrispondenti a qualunque suono, purchè questo abbia sufficiente intensità: pei suoni poco intensi vibrano sol quando abbiano le volute dimensioni e la voluta tensione per produrre l'unisono.

Traesi da' qui un altro facile modo per rendere evidenti le linee nodali delle lamine grosse. Si sparge qualche polvere sovra una carta ben tesa su telaio di legno, e vi si sovrappone la lamina, tenuta un po' discosta dalla carta stessa mercè tre pezzetti di sovero e premu-

distinguere ad una ad una le onde nate dal tremore del corpo che risuona, che son poi quelle che, diffuse per l'aria, vanno a far titillazione sul timpano del nostro orecchio, la quale nell'animo ci diventa suono. Raschiando con uno scarpello di ferro tagliente una piastra di ottone per levarle alcune macchie, nel muoverti sopra lo scarpello con velocità, sentii una volta e due, tra molte strisciate, fischiare e uscirne un sibilo molto gagliardo e chiaro, e guardando sopra la piastra, vidi un lungo ordine di virgolette sottili, tra loro parallele e per egualissimi intervalli l'una dopo l'altra distanti. Tornando a raschiare più e più volte, mi accorsi che solamente nelle raschiate che fischiarono, lasciava lo scarpello le raschiature sopra la piastra; ma quando la strisciata era senza sibilo non restava pur minima ombra di virgolette. Replicando più altre volte lo scherzo, e strisciando ora con maggiore ora con minore velocità, il sibilo riusciva or di tuono più acuto ed or più grave, ed osservai i segni fatti nel suono più acuto essere più spessi, e quelli del più grave, più radi; e talora ancora, secondo che la strisciata medesima era fatta verso il fine con maggiore velocità che nel principio, si sentiva il suono andarsi inacutendo, e le virgolette si vedeva pure essere andate inspessendosi, ma sempre con estrema lindura e con assoluta equidistanza segnate; ed oltre a ciò nelle strisciate sibilanti sentiva tremarmi il ferro in pugno, e per la mano scorrermi certo rigore. »

tavi contro-superiormente con un dito, applicato nel mezzo della lamina oppur lateralmente. Allora, strisciando la lamina coll'archetto si da cavarne suoni, la carta tesa, vibrando all'unisono, presenterà assai distinte le corrispondenti linee nodali della lastra.

Dietro codesti principii s'intende anche l'ufficio delle casse armoniche formate con sottili tavole di legno, che si applicano agli stru-

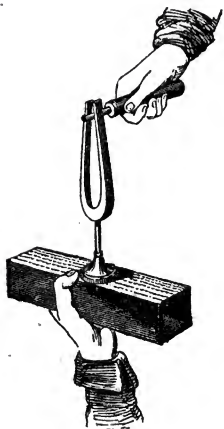


Fig. 109.

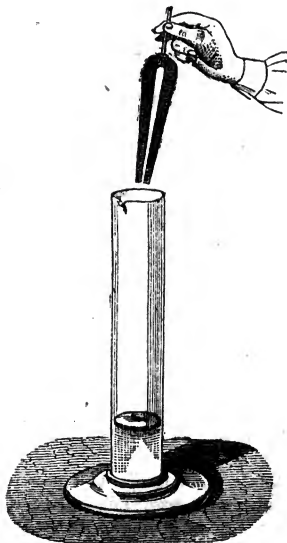


Fig. 110.

menti musicali da corda, e l'influenza delle pareti solide, onde sono costituiti gli strumenti da fiato, sul metallo de' suoni che essi danno. Così il suono di un corista può essere rinforzato di molto, posandolo su una cassa armonica, la quale entra in vibrazione e colle assicelle di rivestimento e coll'aria inchiusa: oppure presentandolo all'imboccatura d'un vaso cilindrico, nel fondo del quale siasi versato un liquido a conveniente altezza, sì che la restante colonna d'aria vibri all'unisono.

Meglio si rende evidente questo fatto con uua campana metallica,

fatta vibrare con forti strisciate d'archetto, alla quale si vien accostando un tubo, aperto ad un estremo o ad entrambi; poichè se la



Fig. 111.

lunghezza di questo è tale da produrre colle vibrazioni dell'aria inchiusa (come ora si dirà) sia l'unisono, sia un suono armonico con quello dato dalla campana, si ascolta un rinvigorimento assai notevole nel suono stesso.

Quale esempio di suoni prodotti da vibrazioni longitudinali nelle verghe, può servire uno stromento di Marloye, formato con tante sottili verghette di legno d'abete, impiantate sovra una cassa armonica ed aventi opportune lunghezze per formare una scala musicale di suoni, quando le si sfregghino facendo scorrere le dita, cosperse di polvere di colofonia, pel lungo di esse (vedi fig. 112 a pag. 267):

Tubi sonori.

§ 157. L'altezza de' suoni prodotti dalle colonne d'aria vibranti entro tubi sonori, dipende specialmente dalla lunghezza di questi, dall'esser chiusi ad un estremo, oppure aperti ad ambo gli estremi, e dalla velocità con cui l'aria vi è sospinta per entro. La materia dei tubi, almeno quando le loro pareti hanno molta grossezza, influisce soltanto sul metallo dei suoni; e cessa d'aver sensibile influenza

il diametro dell'apertura qualora l'apertura stessa sia interamente libera e la lunghezza del tubo sia almeno quattordici volte maggiore del detto diametro.

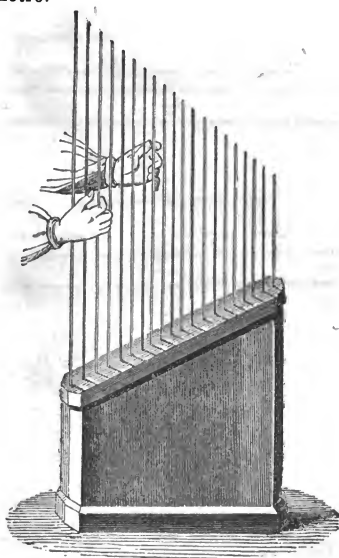


Fig. 112.

In siffatte condizioni Daniele Bernoulli stabilì col calcolo che un tubo chiuso all'estremo opposto all'imboccatura dà il proprio suono fondamentale od il più grave quando la lunghezza dell'onda aerea eguagli il doppio della lunghezza del tubo. Aumentando successivamente la velocità dell'aria sospintavi, si ottengono altri suoni, mano a mano più acuti, dividendosi la colonna d'aria in un numero sempre maggiore di concamerazioni, separate da nodi. In ogni caso la lunghezza l' dell'onda sonora, ossia la distanza tra due consecutivi nodi, corrisponde ad:

$$(119) \quad l' = \frac{2l}{2n' - 1},$$

posto n' il numero dei nodi ed l la lunghezza del tubo. Quindi i numeri relativi alle vibrazioni rispondenti alle serie dei suoni, ch'esso

può riprodurre, incominciando dal fondamentale, saranno rispettivamente rappresentati dalla serie dei numeri dispari. Le due seguenti figure mostrano il senso del movimento delle onde aeree in un tubo

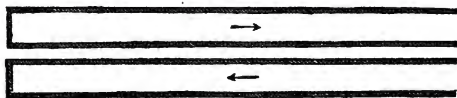


Fig. 113.



Fig. 114.

chiuso ad un capo, secondo che il suono che in esso si produce corrisponde alla formazione di un sol nodo, oppure di due. Laddove per un tubo aperto ai due estremi la lunghezza dell'onda corrispondente al suo suono fondamentale eguaglia la lunghezza di esso, e per i successivi suoni più acuti, assunte le precedenti notazioni, si ha:

$$(120) \quad l' = \frac{l}{n'};$$

e perciò i numeri relativi alle vibrazioni rispondenti ai diversi suoni dal medesimo tubo prodotti col crescere successivamente la velocità dell'aria, partendo dal suono fondamentale, corrisponderanno alla serie naturale dei numeri.

Ed avendosi una serie di sette tubi, le cui lunghezze relative siano rispettivamente $1, \frac{8}{9}, \frac{4}{5}, \frac{3}{4}, \frac{2}{3}, \frac{3}{5}, \frac{8}{15}$, i loro suoni fondamentali daranno la scala diatonica (§ 152). Che se i tubi saranno chiusi ad un estremo, la gamma sarà di un'ottava più bassa di quella che darebbe ove fossero aperti. Ed il numero n delle vibrazioni pel suono fondamentale sarà:

$$n = \frac{v}{2l}$$

per un tubo chiuso, e per un tubo aperto:

$$n = \frac{v}{l},$$

essendo v la velocità di propagazione del suono nell'aria.

Queste leggi si ponno verificare approssimativamente coll'esperienza, facendo vibrare all'imbocco di un vaso cilindrico, profondo e stretto, diversi coristi che diano note aventi dati rapporti tra loro, e versando, in ogni caso, tanto liquido nel vaso stesso che riduca l'altezza della colonna d'aria vibrante a tale da produrre un suono unisono con quello del corista (fig. 110 a pag. 265). Misurando l'altezza della colonna aerea nei singoli casi in confronto ai numeri delle vibrazioni del corista, si ottengono valori che s'accostano a quelli calcolati colle precedenti formole. Queste si ponno pur verificare con un tubo a fondo mobile approssimato ad una campana vibrante (fig. 111 a pag. 266).

Dietro questi dati è pur facile dedurre le regole suindicate per trovare la velocità del suono nei diversi gas, nei solidi e nei liquidi (§§ 144-147).

I tubi sonori adoperati come stromenti musicali si distinguono, per rispetto al modo di promuovere in essi le vibrazioni dell'aria, in istromenti *a bocca*, aventi un'imboccatura fissa, come in alcuni tubi



Fig. 115.



Fig. 116.



Fig. 117.

d'organo (fig. 115), e nello zupfelo (fig. 116), ed in istromenti *a piovetta*, qual è il caso del clarinetto (fig. 117) e dell'oboe.

Per far vibrare a lungo e con regolarità i tubi sonori si sogliono impiantare sul *mantice acustico*, che è un grande soffietto, mosso con un pedale, e con un'asta di compressione, col quale si spinge in modo continuo l'aria entro una cassa, munita di fori di vario diametro, chiusi da valvole in pelle, come nella fig. 118 dove vedesi impiantata su uno dei fori la sirena (fig. 102 a pag. 257).

§ 158. Savart e Masson dimostrarono che quando un gas effluisce da un piccolo orifizio, praticato in lastra sottile, si comporta in modo

analogo all'efflusso d'un liquido in simili circostanze, cioè la velocità dell'efflusso medesimo è periodicamente variabile, si da determinare nel gas circostante delle vibrazioni rapide ed isocrone, le

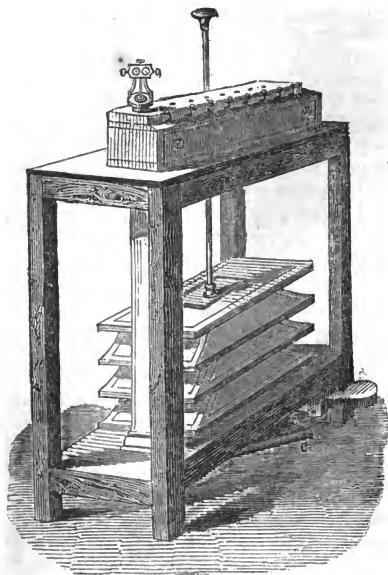


Fig. 118.

quali, ove abbiano una bastevole intensità, ponno produrre la sensazione d'un suono. E coll'aumentare successivamente la pressione sul gas uscente, cresce pur gradatamente l'altezza del suono, essendo i numeri delle vibrazioni proporzionali alle radici quadrate delle pressioni, ossia alle velocità dell'efflusso, iudipendentemente dal diametro dell'orifizio.

Se, per rinforzare cosiffatti suoni, s'annette alla lastra un tubo cilindrico, coll'asse passante pel centro dell'orifizio, allora la pressione può variare entro certi limiti, senza che varii l'altezza del suono: però entro tali limiti, l'intensità del suono medesimo cresce o decresce, secondo che cresce o scema la pressione. E similmente

entro altri limiti di pressione, si ottengono altri suoni di diversa altezza, ciascuno de' quali varia solo d'intensità col variare della pressione tra i corrispondenti limiti.

Interferenze e coincidenze dei suoni.

§ 159. Quando si producono simultaneamente due suoni piuttosto intensi, come sono quelli dati dai tubi sonori, e che differiscono tra loro in altezza, succedono i così detti *battimenti*, cioè ad eguali intervalli di tempo si ode un rinforzo, coincidendo una vibrazione dell'un suono con una vibrazione dell'altro suono; laddove alla metà dell'intervallo tra due successive coincidenze si ode un indebolimento nei suoni. Che se questi periodi di coincidenza sono molto brevi, cioè se i due suoni sono notevolmente discosti in altezza, sicchè se ne verifichi un numero maggiore di 32 in 1'' di tempo, si percepisce un nuovo suono più grave dei due dati. Da ciò si ritrae un metodo per accordare gli organi, poichè due suoni unisoni esattamente non devono presentare siffatte alternative d'intensità.

Analogamente, quando due suoni d'uguale altezza sono prodotti da due corpi che non vibrino in coincidenza tra loro o che trovinsi a diversa distanza dall'orecchio che ne percepisce le vibrazioni, può accadere che codesti suoni in dati istanti si affievoliscano scambievolmente, in altri si rinforzino. Ciò proviene dal sovrapporsi o dall'interferirsi delle onde sonore che si dipartono dai due corpi e pervengono all'orecchio. Se la differenza di tempo nelle vibrazioni o di distanza ne' due corpi sonori corrisponde alla metà della lunghezza dell'onda, o ad un multiplo dispari di questa metà, vi sarà interferenza tra le onde od affievolimento nel suono: se invece codesta differenza corrisponde all'intera lunghezza dell'onda o ad un multiplo di questa, vi sarà sovrapposizione concorde nelle onde e rinforzimento nel suono.

Per esempio, abbiansi due tubi, chiusi da una sola banda, ne' quali l'aria vibrando dia un suono all'unisono con quello dato da un corista. Nel mentre ciascun d'essi varrà a rinforzare per risonanza (§ 154) il suono del corista stesso, si otterrà un notevole svigorimento in questo suono, disponendo i due tubi coi loro assi perpendicolari l'uno all'altro, e portando le estremità vibranti di esso in corrispondenza all'intersezione di tali due assi. Ancora ciascun tubo risuonerà; ma le onde aeree da essi date all'esterno, interferendo tra loro, si elidono nei loro effetti sull'udito nostro.

Anche colle lamine sonore si possono verificare questi fenomeni. Quand'esse si dividono in varii settori vibranti, di numero pari, se-

parati tra loro da linee nodali, accade che due porzioni contigue offrono, in un dato istante, vibrazioni di senso opposto, mentre due

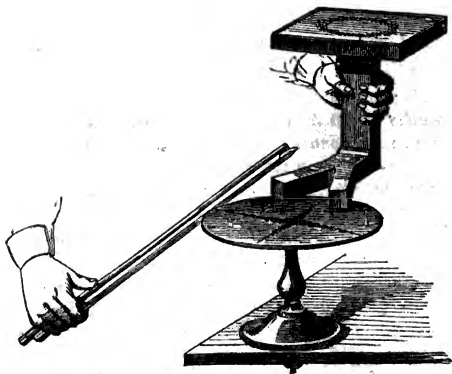


Fig. 119.

settori tra loro diametralmente opposti vibrano con fasi concordi tra loro. Ora, avendosi un tubo sonoro, chiuso superiormente da una membrana ed inferiormente diviso in due rami, se questi si dispongono così da sovrastare a due porzioni vibranti in opposizione s'avrà affievolimento nel suono, e s'avrà invece rinforzo per risonanza disponendoli sopra due porzioni vibranti in accordo.

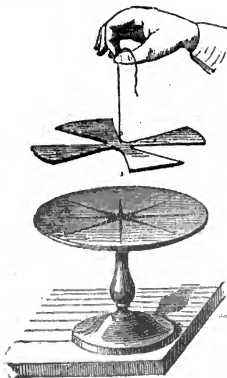


Fig. 120.

In altro modo si può rilevare questo fatto. Se per esempio la lamina vibra così da dividersi in otto settori e si dispone al disopra, sostenendolo con un filo, un disco di cartone, diviso pure in otto settori, de' quali se ne sian tolti 4, sì che alternino i settori conservati coi mancanti, si avrà un rinforzo quando dalle aperture del cartone passino soltanto le vibrazioni concordanti della lamina, restando coperte le parti che vibrano in opposizione. Che se il disco vien fatto ruotare, col torcere il filo,

verificandosi alternativamente il caso precedente e quello in cui le aperture corrispondono a parti le cui vibrazioni sono contrarie, si percepirà un suono, nel quale andranno alternandosi un rinforzo ed un affievolimento.

Composizione dei moti vibratorj sonori.

§ 160. Avendosi una verga prismatica a sezione rettangolare, fissa ad un estremo, la si potrà far vibrare ora nel senso dell'un lato ed ora nel senso dell'altro normale al primo: allora le vibrazioni della verga si manterranno in un piano; ed i numeri delle vibrazioni avranno relazione ne' due casi alle dimensioni de' due lati rispettivi della sezione.

Si potrà però far vibrare la verga anche in modo che si producano insieme le vibrazioni nel senso dei due lati, nel qual caso l'estremo

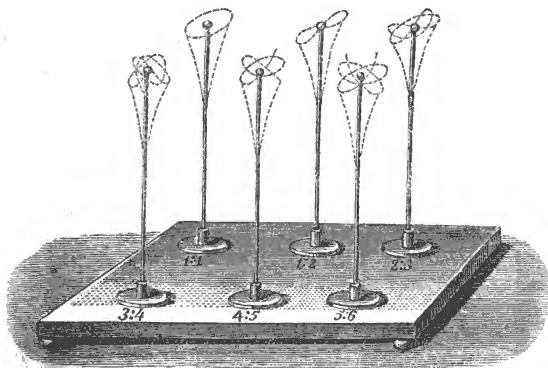


Fig. 121.

libero di essa che si munisce d'una perla brillante, come usò Wheatstone, descriverà col rapido suo moto, a tracce lucenti continue, attesa la persistenza delle immagini visive nell'occhio nostro, speciali linee. Se il rapporto dei due lati della sezione è di 1 : 1, cioè se questa è quadrata, la traiettoria apparirà successivamente una retta inclinata, poi un'elisse obliqua, indi un'elisse retta, poi ancora un'elisse obliqua, ed infine una retta inclinata, ma in senso opposto al precedente, com'è indicato nella prima serie orizzontale di figure dello

specchio seguente in corrispondenza all'unisono. Se invece il rapporto dei due lati della verga sarà di 1 : 2, di 1 : 3, di 2 : 3, di 3 : 4, la

Unisono = 1 : 1



Ottava = 1 : 3



Quinta d'ottava = 1 : 3



Quinta = 2 : 3



Quarta = 3 : 4



Fig. 122.

Per la verga vibrante, darà la serie orizzontale di curve corrispondenti ai rispettivi rapporti.

Figure simili a questa si ottengono, ma in modo più spiccato, facendo vibrare insieme due coristi, disposti in piani perpendicolari tra loro e muniti, come usò Lissajous, di specchietti metallici all'estremità

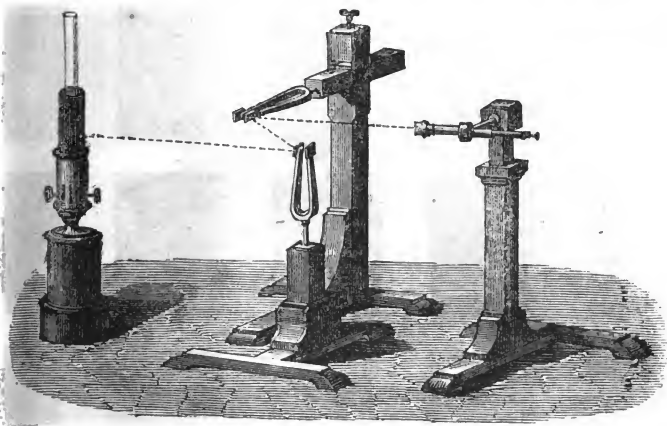


Fig. 123.

dei loro rami, ed inviando su l'uno di essi un raggio di luce, il quale, venendo riflesso sullo specchio dell'altro corista, è poi avviato secondo l'asse di un cannocchiale, oppure su d'uno schermaglio nero.

Udito.

§ 161. Dietro i suesposti principii d'acustica si può dare la teoria dei diversi strumenti musicali, e si ponno intendere gli uffici delle singole parti di quegli apparecchi organici che nell'uomo e negli animali servono alla percezione dei suoni ed alla produzione della voce o del canto.

L'apparecchio dell'*udito* consta di tre parti: l'esterna, la media e l'interna. — L'*esterna* è costituita dal padiglione e dal canale auricolare. Il *padiglione* è formato da una lamina fibro-cartilaginea flessibile ed elastica, quasi interamente sciolta. La cute che la ricopre, massime nella faccia anteriore, è sottile, asciutta e molto tesa, e presenta molte sinuosità e molti rialzi ed avvallamenti: il maggiore di questi, detto *conca* uditiva, è foggato ad imbuto largamente

conico, a guisa della conca d'un cornetto acustico, e prolungasi col *condotto auricolare*. Questo s'interna nell'osso temporale, piegando in alto ed in avanti, ricoperto da cute racchiudente gran numero di

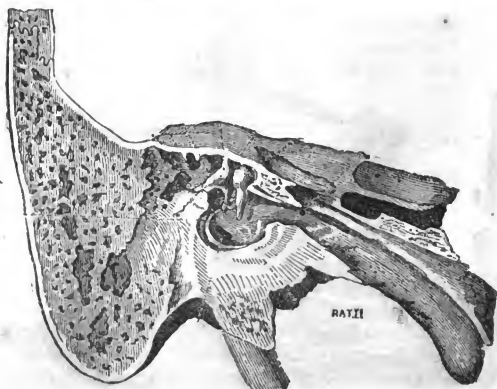


Fig. 124.

follicoli o ghiandolette sebacee, secernenti il cerume, materia gialla, viscida ed amara, che trattiene i corpi stranieri dal penetrare nel fondo del condotto uditivo.

La *parte media* è costituita dal timpano, dal tamburo e dalle attinenze di questo. Una sottile membrana molto tesa ed elastica, detta *timpano*, chiude il condotto auricolare e separa la parte esterna dalla media, che dicesi cassa del timpano o *tamburo*, di forma irregolare, scavata nell'osso petroso, contenente aria che giunge dalle fosse nasali o dalla faringe per via della *tromba di Eustachio*, canale che sbocca nella parte inferiore del tamburo. La parete opposta al timpano ha due aperture chiuse da membrane sottili e bene tese, dette *finestra rotonda* la più bassa, e *finestra ovale* la più elevata. Una catena di 4 ossicini, per la loro forma chiamati *martello*, *incudine*, *osso lenticolare* e *staffa*, attraversa la cavità, stendendosi coi suoi estremi dal timpano alla finestra ovale; apposti muscoletti li muovono sì da premere con varia forza contro tali membrane.

L'*interna* parte dell'orecchio componesi di varie cavità, tra loro comunicanti e pur contenute nell'appendice petrosa dell'osso temporale, dette vestibolo, canali semicircolari e chiocciola, e nel loro insieme *laberinto*. Il *vestibolo*, che è la parte media, comunica co-

tamburo per la finestra ovale. Nella sua parte posteriore e superiore si elevano i tre *canali semi-circolari* in forma di tubi anulari, e gonfi ad un capo a guisa d'ampolla, contenente una materia grigiastra molle. Inferiormente il vestibolo comunica con uno degli scomparti della *chiocciola*, tubo conico, avvolto a spirale e diviso internamente sin presso l'estremità della spirale da un tramezzo longitudinale in parte tendinoso, in parte osseo: l'altro scomparto della chiocciola

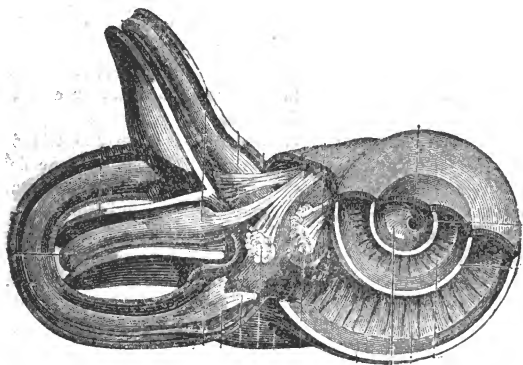


Fig. 125.

comunica col tamburo per la finestra rotonda. Il laberinto è tappezzato da sottil membrana poco aderente alla parete ossea, ed è pieno (tranne i canali semicircolari) di un liquido acquoso, detto di Cotugno. Il *nervo acustico*, derivante dal nervo dell'ottavo paio, che nasce dal midollo allungato, penetra nell'appendice petrosa per un canale osseo, detto condotto uditivo interno, e si dirama nelle varie cavità del laberinto.

Il padiglione colle varie sue prominenze, le cui linee salienti, secondo Boerhaave, appartengono ad una superficie parabolica, il fuoco della quale corrisponde all'asse del condotto auricolare, e specialmente colla conca, serve a raccogliere le onde sonore per indirizzarle al detto asse. Serve altresì a trasmettere direttamente alle parti interne dell'organo le vibrazioni dell'onde che in qualche parte, qualunque sia la loro direzione, lo colpiscono normalmente alla sua superficie. Il condotto uditivo raccoglie sempre più le onde, per dirigerle sul timpano, e probabilmente rinforza il suono colla risonanza della colonna d'aria in esso compresa. L'insieme del padiglione

e del condotto compie dunque un ufficio analogo a quello del cornetto acustico. Le persone di debole udito o che vogliono percepire suoni molto fievoli, allargano il padiglione coll'applicarvi dietro la mano opportunamente incurvata.

La membrana del timpano serve però d'intermezzo fra la parte esterna e la media, trasformando le vibrazioni dell'aria in vibrazioni trasversali di solidi. Essa entra in vibrazione sotto la influenza di qualsiasi suono, dividendosi in centri e linee nodali, il cui numero e la cui posizione varia secondo l'altezza e la direzione dei suoni. Inoltre comunica direttamente al manico del martello, e quindi alla catena degli ossicini, tutte le ondulazioni che riceve, coi modi e colle loro qualità. Pertanto codesta membrana rinforza ancor essa i suoni, concentrandoli sulla lamina della staffa.

Nella cassa del timpano le vibrazioni si trasmettono alla finestra ovale per la serie degli ossicini, qualunque sia la tensione del timpano (mentre il muscoletto della staffa non fa che controbilanciare gli stiramenti del muscoletto del martello), e si trasmettono alla finestra rotonda per mezzo dell'aria che riempie la cassa e perviene dalla tromba d'Eustachio: quest'aria tende ad esercitare una pressione sulla faccia interna del timpano, equivalente a quella che l'aria esterna esercita su la sua faccia esterna. La tromba d'Eustachio vale anche a tradurre nelle fosse nasali i liquidi segregati dalla mucosità della cassa.

La chiocciola serve a lasciar distendere le fibre nervose in una superficie notevole rispetto al piccolo suo volume ed a porle in relazione con una lamina solida (che suddivide le spire della chiocciola) la quale, essendo in continuità delle pareti solide del labirinto, ed in contatto col liquido labirintico, è atta a trasmettere alle medesime fibre le vibrazioni comunicate sì ai solidi che ai liquidi dell'organo. Secondo Corti queste fibre nervose si dividerebbero in moltissimi filamenti, ciascuno de' quali, a modo di un risonatore (§ 155), vibrerebbe soltanto per una data nota elementare e starebbe muto per le altre. I suoni composti ne farebbero vibrare un numero corrispondente ai suoi suoni armonici.

La durata normale della sensazione uditiva può ritenersi d'un po' meno di $0'',1$ poichè secondo Savart una serie di rumori succedentisi con sufficiente intensità in modo da dar 10 a 12 vibrazioni in $1''$, produce un suono continuo. Questa durata delle impressioni uditive è analoga a quella delle impressioni visive trovata col girar rapido d'un corpo luminoso.

Voce.

§ 162. L'organo della voce consiste nella *laringe*. È un tubo largo e corto; sospeso all'osso ioideo alla base della lingua: inferiormente prolungasi colla trachea, tubo cartilaginoso che sbocca biforcandosi nei polmoni. Le pareti della laringe son formate da quattro lamine cartilaginee, chiamate dagli anatomici: cartilagine *tiroide*, cartilagine *cricoide* e cartilagini *aritenoidi*. La cartilagine tiroide forma anteriormente un risalto, che insieme colla ghiandola tiroidea costituisce il così detto *pomo d'Adamo*. La membrana che la veste in-

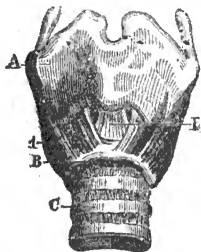


Fig. 126.

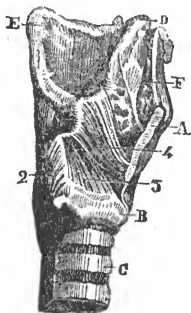


Fig. 127.

A. Cartilagine tiroide. — B. Cartilagine cricoide. — C. Trachea. — D. Epiglottide. — E. Osso ioideo. — F. Legamento tiro-ioideo e membrana tiro-ioidea. — L. Legamento crico-tiroideo. — 1. Muscolo crico-tiroideo. — 2. Muscolo crico-aritenoidio posteriore. — 3. Muscolo crico-aritenoidio laterale. — 4. Muscolo tiro-aritenoidio.

ternamente si piega in due grandi falde laterali, dirette dall'avanti all'indietro a guisa di lembi d'un occhiello, che son dette *corde vocali* o *legamenti inferiori della glottide*: hanno qualche grossezza e varia lunghezza (25 o 30 millimetri), con apertura stretta in avanti ed indietro larga da 7 a 8 mill. secondo la sporgenza della tiroide, sulla quale s'inseriscono, e si tendono poi variamente per opera del muscoletto in esse racchiuso e pei moti delle cartilagini aritenoidi cui si saldano posteriormente, e così avvicinando o divaricando le labbra, stringono o allargano la fessura che rimane tra esse. Su-

periormente i *ventricoli* della laringe o cavernette laterali (larghi da 25 a 30 mill. ed alti 15) sono chiusi dai *legamenti superiori* della *glottide*, le cui labbra formano una seconda apertura, analoga all'inferiore, ed elevata su essa da 15 a 18 mill.; chiamandosi glottide lo spazio compreso da queste quattro labbra. L'apertura superiore della glottide comunica colla *faringe* (parte posteriore ed inferiore della cavità boccale) e vien coperta dalla epiglottide, specie di linguetta fibro-cartilaginea, la cui base saldasi alla radice della lingua.

Nella fonazione, le aritenoidi s'avvicinano in modo da dividere la laringe in due canali, l'uno anteriore che è l'apparecchio vocale. l'altro posteriore destinato alla respirazione, terminante superiormente colla glottide inter-aritenoidea, la cui varia apertura determina la pressione d'aria al suo uscire dalla glottide vocale.

La voce è originariamente prodotta dall'efflusso periodico dell'aria (analogo a quello discontinuo dei liquidi uscenti da piccoli orifici: § 158) attraverso la glottide inferiore o vocale, che è la principale sede delle vibrazioni sonore. Comunicandosi questo all'apparecchio rinforzante, composte de' ventricoli e del tubo laringeo inferiore alla glottide, lo fanno risuonare, e producono la voce. L'apertura della glottide è sempre proporzionata al tuono dell'apparecchio rinforzante, il quale può variare colla varia rigidezza delle pareti muscolari della laringe ed anche colle sue dimensioni. Il moto vibratorio dell'aria uscente dalla glottide è sempre all'unisono del suono del tubo laringeo, il quale non può produrre che un sol suono entro i limiti possibili di pressione.

La glottide superiore, conterminata dai legamenti superiori, divide l'apparecchio rinforzante in due cavità, che devon sempre essere all'unisono della voce di petto. Col variare la sua forma e la sua apertura s'adatta il tuono della cavità dei ventricoli al suono dell'orificio sonoro, cioè della glottide inferiore. Differisce però essenzialmente da quest'ultima in ciò, che le sue labbra non son conformate da muscoli contrattili, ma da cordoni fibrosi, la cui tensione è meccanicamente prodotta dalle varie cartilagini della laringe.

L'organo vocale si può paragonare ad un richiamo degli uccellatori, sormontato da un tubo, oppure all'infossatura della trombeta (che è ancora un richiamo) munita d'un'apertura membranosa, analoga alla glottide con tubo addizionale.

Le parti essenziali della fonazione sono adunque la glottide inferiore ed i ventricoli. La glottide darebbe per sé suoni debolissimi, i quali vengono gradatamente rinforzati dalla risonanza di ventricoli; appunto come le corde de' nostri strumenti darebbero suoni fiolissimi senza la cassa armonica.

CAPO VIII.

TERMOLOGIA

§ 163. Fin da principio s'è detto che la fisica ricerca le leggi delle proprietà generali dei corpi (§ 1). E si soggiunse poi che queste proprietà generali corrispondono ad altrettanti modi di manifestazione dell'operosità dei corpi stessi (§ 2). Ora possiamo aggiungere che siffatti vari modi dell'attività corporea o si risolvono in forme diverse di movimenti delle loro parti minime o del loro insieme, oppure si attengono alle differenti impressioni che essi producono sui vari organi de' sensi nostri, o sui diversi stromenti da noi adoperati per rilevarli (a).

Così s'è visto la gravitazione universale, e quindi anco la gravità terrestre, esser una peculiar forma di movimento, per cui le parti tutte dell'universo cospirano al reciproco avvicinamento (Capo III), e di conformità s'è notato che l'esercizio della gravità nei liquidi, e le pressioni reciproche esercitantesi tra le loro parti, hanno attinenza con un particolar grado di velocità delle loro molecole gravi (Capo IV). Ed anche quella proprietà, che diciamo elasticità ne' fluidi aeriformi, è manifestazione dello stato dinamico delle loro molecole (Capo V). Gli stessi fenomeni di elasticità nei solidi (Capo VI) ci confermarono

(a) Già il Galileo nel *Saggiatore* col potente suo ingegno divinò questo fondamentale principio della moderna fisica. « I sapori, egli disse, i colori, li odori, « i suoni, il calore non sono qualità intrinseche dei corpi, ma tengono solamente lor residenza nel corpo sensitivo, sì che, rimosso l'animale, sono tutte annichilite; mentre nei corpi esterni, ad eccitare in noi quelle diverse affezioni, altro non si richiede che grandezze e movimenti di varie dimensioni e « velocità ». Ed invero nei concetti che ci formiamo de' fenomeni fisici siamo usi a confondere insieme l'elemento soggettivo di essi coll'elemento obbiettivo; e da ciò trassero origine molte tra le differenze supposte nella natura de' fenomeni stessi. Ed oltre alla diversità de' sensi attraverso i quali li percepiamo, interviene spesso a rendercene complicati i concetti la diversa funzionalità degli stromenti che ci servono a riconoscerli od a valutarne l'intensità relativa.

nel concetto di un assiduo moto nelle loro parti minime, grazie al quale esse si tengono tra loro a date distanze ed in date posture. E segnatamente vedemmo essere manifestazione di regolati moti vibratorj intestini nei corpi elastici que' fenomeni ai quali diam nome di suoni (Capo VII).

Del pari si può congetturare che tutte l'altre diverse manifestazioni dell'operosità dei corpi, che diremo *energie fisiche*, si risolvano in altrettante forme di moti intestini o molecolari dei corpi stessi, e come tali riescano poi convertibili gli uni negli altri a perfetta vicenda. È appunto ciò che venne ampiamente dimostrato da Grove (1843), benché l'avesser prima presagito il vicentino Ambrogio Fusinieri ed il pesarese Domenico Paoli (a).

§ 164. Una di queste forme di energie fisiche, che più di frequente e più facilmente ci occorre di considerare nello studio de' fenomeni, è quella che diciam *calore*. Le variazioni di volume, che osserviamo accadere, in un modo quasi continuo, ma con varia misura, ne' corpi tutti della superficie terrestre col variare dell'altezza del sole su l'orizzonte o del grado di serenità dell'atmosfera, e le mutazioni di stato fisico, che pur soventi osserviamo in parecchi corpi, or solidi, or liquidi ed ora aeriformi, sono dipendenti tutte da variazioni nello *stato termico* dei corpi stessi. Anche il nostro senso del tatto riceve impressioni variamente intense dalla presenza de' corpi, che noi sogliam dire essere più o meno *caldi*, oppure *freddi*; epperò la corrispondente sensazione, quand'è percepita, è chiamata *calore* oppure *freddo*.

Quindi accade che la voce *calore*, nel comune linguaggio, è usata con due diversi significati. Ora accenna a quella particolar forma di sensazioni che i corpi determinano in noi in quanto son caldi o freddi; ed ora invece accenna al peculiare stato de' corpi, pel quale essi valgono a produrre gli uni su gli altri mutazioni di volume o di stato fisico, e su di noi le sensazioni anzidette di calore (b). E poichè queste sensazioni prodotte dai singli corpi ne' diversi casi ponno essere più o meno rilevanti, più o meno sentite o vivaci, così ammettiamo nei corpi varj gradi di calore o di freddo, in corrispondenza alla varia intensità relativa dell'azione calorifica o frigorifera.

(a) Quali primi avviamenti alle idee del Grove, del Mayer e del Joule meritano ricordo in Italia le memorie del Fusinieri pubblicate nel *Giornale di Fisica e Chimica* (1821 e 23) sui fenomeni delle lamine sottili, e l'opera del Paoli sul *moto molecolare nei solidi*, edita primamente nel 1825 e ristampata con notevoli aggiunte nel 1840.

(b) In modo analogo il vocabolo *suono* s'usa ad esprimere talora la speciale condizione de' corpi elastici per cui riescono sonori, e talora la special forma di sensazione che i corpi stessi provocano in noi per tale loro condizione.

Sotto questo punto di vista, qualsiasi corpo può riguardarsi quale una fonte di calore o di freddo rispetto agli altri, in quanto può in questi aumentare, oppure scemare lo stato di calore. E d'altronde è evidente che i vari gradi crescenti di freddo corrispondono ai gradi decrescenti di calore, mentre ogni diminuzione nella vigoria calorifica d'un corpo è considerata quale un raffreddamento, ed ogni diminuzione nell'azione sua frigorifera è attribuita ad un aumento nel proprio grado di calore.

E appunto questa condizione, variabile secondo i casi dal più intenso freddo al più intenso calore, in cui trovansi ad ogni istante i corpi, costituisce la loro *temperatura*, la quale vorrebbe significare il grado d'intensità relativa della loro azione calorifica o frigorifera. Epperò la temperatura d'un corpo dovrà desumersi sia dalla grandezza delle variazioni di volume ch'esso produce nei corpi circostanti, o meglio in un dato corpo che venga con esso a pieno contatto, sia ancora dalla vivacità relativa delle sensazioni di calore o di freddo che esso può provocare in noi.

Termometro.

§ 165. Ma i giudizj che noi ci formiamo, in base a codeste sensazioni, sull'intensità calorifica relativa de' varj corpi ponno riescire spesso volte erronei, perchè ne' giudizj stessi non teniamo bastevole conto della influenza della varia successione delle sensazioni medesime (a), oppure di alcune proprietà dei corpi, influenti sulla comunicazione di calore da essi all'organo nostro del tatto o reciprocamente (b). D'altronde il senso nostro vale a farci apprezzare soltanto le differenze notevoli nello stato termico de' corpi, mentre le piccole differenze ci ponno sfuggire, e manco poi possiam fare una stima sicura del valore relativo delle loro temperature. S'è quindi riconosciuta la necessità di ricorrere all'osservazione delle variazioni di volume presentate da un corpo determinato, il quale venendo posto successivamente a contatto coi singoli corpi, ce ne faccia apprezzare le rispettive temperature.

Da che poi s'osservò che, ponendo a pieno contatto un corpo caldo

(a) Così noi sogliam dire essere l'acqua attinta dai pozzi, ed anco l'aria dei profondi sotterranei, fresche nella state e tiepide nel verno, sebbene esse abbian sempre, all'incirca, lo stesso grado di calore, perciocchè confrontiamo la lor temperatura con quella dell'aria esterna, la qual è più calda nell'un caso, e più fredda di essa nell'altro.

(b) La varia conduttività de' corpi pel calore e la varia loro caloricità influiscono di sovente a modificare la vivacità delle sensazioni di calore da essi in noi provocate.

con altro freddo, quello si contrae e raffredda e questo si dilata e si scalda, sino ad assumere entrambi la medesima temperatura, si pensò di considerare il calore come una forza suscettibile di varia intensità, trasmissibile da uno ad un altro corpo e tendente ad equilibrarsi tra essi. Diconsi perciò corpi termometrici, o *termometri* (da *θερμὴν* calore), quei corpi e quegli strumenti che servono a misurare le intensità relative del calore, dietro le variazioni che accadono nelle loro dimensioni (a).

A schiarire questa correlazione tra temperatura e volume ne' corpi, valga il seguente esperimento. Abbiassi un pozzetto di vetro alto assai e piuttosto stretto, nel cavo del quale si possa introdurre un largo tubo cilindrico chiuso ad un capo e munito all'altro d'un cannello di qualche lunghezza. Si predispongan questo e quello empiti di alcole, mentre il tubo sta entro il pozzetto fissato da un tappo, dal quale emerge il suo cannello, mentre il vano del pozzetto comunica con altro cannello fissato tutt'all'infuori del tappo stesso. Allora, se si caverà fuori il tubo, e scaldatolo a più alta temperatura (coll'immergerlo per poco in altro pozzetto contenente acqua calda), lo si ricollocerà con diligenza nel primo pozzetto, si vedrà che l'alcole di questo cresce di volume scaldandosi, mentre l'alcole del tubo diminuisce di volume, raffreddandosi. Nell'uno le molecole si fanno più discoste tra loro per cresciuta velocità, nell'altro possono accostarsi perdendo

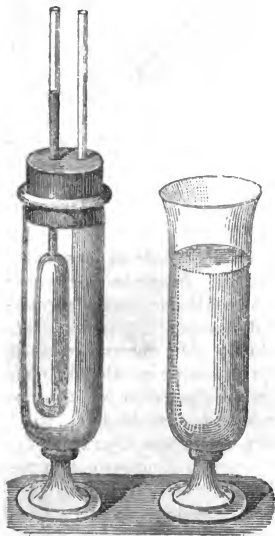


Fig. 128.

di velocità. V'è dunque un ricambio di moti molecolari, correlativo a ciò che diciamo ricambio di calore.

§ 166. Ma per argomentare rigorosamente dall'uno all'altro fatto,

(a) Il primo tentativo per costruire un termometro sembra siasi fatto da Galileo (1596). Ma assai migliore è il termometro ideato e costruito dagli Accademici del Cimento (1681), ad uno dei quali, Carlo Renaldini (1694), devonsi l'invenzione ed una giusta graduazione d'un buon termometro, quello a mercurio.

il corpo termometrico dovrebbe presentare variazioni nelle sue dimensioni appunto proporzionali alle variazioni nella temperatura dei corpi che lo circondano.

Al qual requisito può dirsi che nessun corpo soddisfi veramente; però vi risponde in un modo approssimativo, come vedremo innanzi, il mercurio contenuto nel vetro; e quindi per questo e per diversi altri riguardi lo si suole adoperare qual corpo termometrico.

E perchè poi i vari termometri diano indicazioni tra loro paragonabili, converrà notare sul recipiente d'ognuno di essi i limiti dei volumi apparenti, che presenta il mercurio sotto due temperature tra loro notevolmente differenti (ma entrambe ben fisse e facilmente ottenibili in ogni tempo e luogo), e quindi dividere, ancora su ciascun recipiente, la corrispondente variazione nel volume apparente del liquido in un egual numero di parti d'eguale capacità tra loro. Di tal modo, supponendoli tutti esposti ad una stessa temperatura, intermedia a quelle due, dovrà il liquido, col suo aumento di volume, investire in essi un egual numero di siffatte parti al di là del limite inferiore, sebbene differiscano in ciascun d'essi la massa del mercurio adoperato e la figura del recipiente.

Ma la dilatabilità del mercurio di non molto eccedendo quella del vetro, a rendere più sensibili le variazioni nel volume apparente del corpo termometrico, giova usare un recipiente piuttosto capace, cui s'annette un cannello capillare abbastanza lungo, ed introdurvi tanto di liquido, che sotto la minore delle indicate temperature, questo abbia ad investire tutto il recipiente e poca parte del cannello, e sotto l'altra più elevata abbia ad occupare quasi tutto il restante vano del cannello. E per facilitare poi la divisione dell'intervallo fra tali limiti di volume in parti d'eguale capacità, converrà che il cannello abbia il suo vano possibilmente cilindrico.

A mettere in evidenza la naturale differenza tra la dilatabilità d'un liquido e quella del vetro, giova quest'esperienza che gli accademici del Cimento descrissero sotto nome di *salto* del termometro. Immergendo rapidamente in acqua a temperatura molto superiore od inferiore a quella dell'ambiente una bolla di vetro con cannello, acchiudente alcole colorato, e notando prima su una carta scorrevole annessa al cannello il limite superiore della colonnetta liquida, si osserverà che nel primo caso questo limite s'abbassa d'un tratto alcun poco, per risalire tosto dopo, e nel secondo caso si nota invece un repentino rialzo, susseguito da un graduato abbassamento. Nel primo la bolla, dilatandosi prima del liquido, accresce la sua capacità; nel secondo, contraendosi, la diminuisce.



Fig. 129.

Le dette due *temperature*, che si trascinano dai fisici come *fondamentali* per la graduazione dei termometri sono quella per cui la neve od il ghiaccio puro si liquefanno, e quella del vapore che sorge dall'acqua distillata, bollente sotto la pressione d'un'atmosfera (§ 84).

Però, a confezionare un buon termometro a mercurio, si richiedono molte e tutte delicate operazioni: calibrazione del cannello e preparazione del recipiente; depurazione del liquido; introduzione di questo in quelli, in giusta misura, e con eliminazione dell'aria, innanzi chiudere ermeticamente il cannello; esatta determinazione dei punti corrispondenti alle temperature fondamentali; e ripartizione dell'intervallo tra siffatti due punti in un convenuto numero di parti d'egual capacità.

È soprattutto da curare che la massa del termometro assuma per

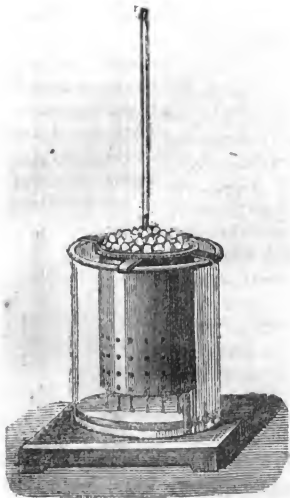


Fig. 130.

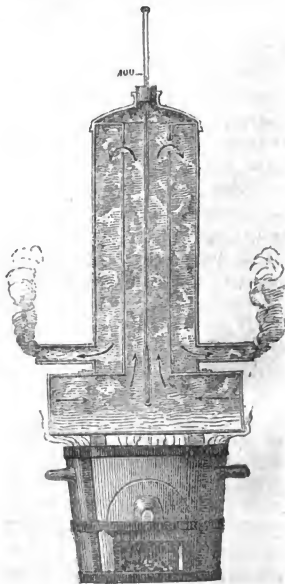


Fig. 131.

bene, in ogni sua parte, ora la temperatura del ghiaccio fondentesi, ed ora quella del vapore che sorge dall'acqua bollente, ne' quali lo

si immergerà successivamente. A tal uopo si usano vasi a doppia parete tanto per contenere il ghiaccio sminuzzato, nel quale si approfonda il serbatoio, quanto per raccogliere il vapore che deve involgere tutto il termometro, come meglio si comprende dalle figure 130 e 131.

E se la pressione atmosferica differirà da mill. 760, si correggerà il punto segnato con riguardo alla varia tensione massima del vapore acqueo a temperature diverse, come si vedrà avanti.

Il cannello si calibra, ossia se ne divide il vano in parti di eguale capacità, facendo scorrere per esso una breve colonnetta di mercurio, mantenuta a costante temperatura (onde ne sia costante il volume), sicchè vi assuma diverse successive posizioni pel lungo del vano stesso, e segnando volta a volta gli estremi di tal colonnetta.

Come si depuri il mercurio, lo si indicò discorrendo della preparazione de' barometri.

Nei *termometri* detti *centigradi* un tale intervallo vien diviso in cento parti: epperò la variazione nel volume del corpo termometrico corrispondente ad una di codeste parti, chiamata *grado centesimale*, esprime una variazione nella temperatura equivalente ad un centesimo della differenza fra le due temperature fondamentali. Diconsi *termometri ottantigradi*, quelli nei quali il predetto intervallo è ripartito solo in ottanta parti, onde i *gradi* sono *ottagesimali* (a). Si negli uni che negli altri vien segnato zero in corrispondenza alla temperatura della liquefazione del ghiaccio; laddove per la temperatura dell'acqua bollente nelle condizioni anzidette corrisponde a 100 gradi ne' primi ed 80 negli altri. Quindi essendo O un certo numero di gradi ottagesimali e C la corrispondente indicazione del termometro centigrado, si avrà:

$$C = \frac{5}{4} O; \text{ ed } O = \frac{4}{5} C = 0,8 C.$$

Tutte le temperature indicate in questo libro senz'altra dichiarazione si riferiscono al termometro centigrado.

(a) Impropriamente cotesti termometri si dicono di Réaumur, mentre il processo di graduazione del termometro ideato dal fisico francese molto differisce da quello oggidì seguito per i termometri ottantigradi.

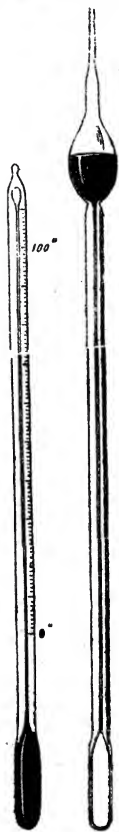


Fig. 132.

In Inghilterra e negli Stati Uniti d'America si usa il termometro di Fahrenheit, il quale segna 32° e 212° in corrispondenza alle due temperature fondamentali de' precedenti termometri. Perciò si avrà:

$$C = \frac{5}{9} (F - 32); \quad \text{ed} \quad F = \frac{9}{5} C + 32$$

essendo F la indicazione del termometro Fahrenheit, corrispondente ad un numero C di gradi centesimali.

Diversi termometri, benché paragonabili tra loro, possono avere una differente *sensibilità* ed una differente *prontezza* nelle loro indicazioni, cioè varia in essi la quantità dell'escursione della sommità della colonnetta liquida rispondente ad una data variazione nella temperatura, e varia pure il tempo necessario a che ciascuno di essi risenta l'effetto d'una data mutazione nella temperatura; e ciò dipendentemente da varie condizioni degli strumenti stessi.

La sensibilità ha segnatamente attinenza col rapporto sussistente tra la capacità totale del serbatoio e la capacità corrispondente al vano del cannello nella unità di lunghezza del medesimo, e quanto maggiore sarà questo rapporto, più grande sarà la sensibilità. Invece la prontezza dipende dalla massa del liquido termometrico, dal rapporto tra la sua superficie ed il suo volume, dalla sua caloricità specifica e conduttività termica, e dalla grossezza delle pareti vitree.

Un termometro col serbatoio cilindrico piuttosto lungo e di poco diametro, e col cannello finamente capillare, può insieme riescire abbastanza sensibile e pronto; laddove, in generale, e più ne' termometri a serbatoio sferico, non concordano le condizioni di sensibilità con quelle di prontezza.

Nell'uso poi dei termometri deve si aver riguardo allo spostamento dello zero, che può in essi di leggieri verificarsi (come avverti Bellani nel 1808), a cagione di un lentissimo moto molecolare del vetro, stato prima infuocato e raffreddato poi lestamente. E si debbono avere varie cautele per ottenere dai termometri la giusta indicazione della temperatura de' corpi, con riguardo alle condizioni fisiche di questi, ed alla varia prontezza dei singoli termometri.

Dilatazione termica de' corpi.

§ 167. Il primo e più generale effetto delle variazioni nella intensità della forza calorifica sui corpi sta nelle conseguenti variazioni nel loro volume (§ 8). Tutti i corpi, qualunque sia il loro stato di aggregazione, assoggettati a temperature mano mano crescenti, presentano continui incrementi in ciascuna delle loro dimensioni; e per

converso ogni diminuzione nella temperatura è susseguita da un decremento nelle dimensioni dei corpi.

Nei solidi talora si tien conto soltanto della *dilatazione lineare*, cioè dell'aumento verificatosi nel senso d'una sola dimensione, e talora si considera la *dilatazione cubica*, cioè l'aumento nel loro volume. I primi a mettere in evidenza con rigorose e svariate prove la dilatazione prodotta dal calore ne' solidi (nei quali è molto meno sentita che nei fluidi) furono gli Accademici del Cimento.

Chiamasi *coefficiente di dilatazione lineare* per un dato solido il rapporto sussistente fra l'aumento di lunghezza, che in esso accade coll'elevarne la temperatura di 1° C., e la sua primitiva lunghezza; ovvero il detto coefficiente corrisponde all'aumento di lunghezza che si verifica nell'unità di lunghezza di un dato solido, ove lo si scaldi di 1° C.

Supponendo che, almeno entro certi limiti di temperatura, si mantenga uniforme la dilatabilità lineare dei solidi per opera del calore, cioè supponendo che gl'incrementi nelle dimensioni riescano per ciascun solido proporzionali agli aumenti nella temperatura; si hanno le seguenti relazioni:

$$(121) \quad l' = l (1 + \delta' t); \quad \delta' = \frac{l' - l}{l t},$$

ove l esprime la lunghezza del solido alla temperatura 0° , δ' il suo coefficiente di dilatazione lineare, ed l' la lunghezza assunta dal solido sotto un'altra temperatura, discosta dallo 0° di un numero t di gradi centesimali.

Per *coefficiente di dilatazione cubica* di un corpo si intende il rapporto fra l'aumento di volume prodotto in esso coll'elevarne la temperatura di 1° C. ed il suo primiero volume: ovvero s'intende l'aumento di volume che presenta l'unità di volume del corpo stesso, scaldandolo di 1° C. E pur qui, entro quei limiti di temperatura per cui è dato di tenere uniforme la dilatabilità cubica dei corpi, si avranno le relazioni:

$$(122) \quad v' = v (1 + \delta t); \quad \delta = \frac{v' - v}{v t},$$

posto v il volume d'un corpo a 0° , δ il suo coefficiente di dilatazione cubica, e v' il volume che esso presenta sotto una temperatura discosta dallo 0° di un numero t di gradi centesimali.

È agevole il dimostrare che il coefficiente della dilatazione cubica δ d'un dato solido è legato col corrispondente coefficiente della dilatazione lineare δ' dalla relazione:

$$1 + \delta = (1 + \delta')^3;$$

sviluppando la quale si riconosce dover essere molto prossimamente:

$$\delta = 3 \delta'$$

perchè δ' essendo, in generale, una frazione molto piccola dell'unità, si possono trascurare i termini contenenti la seconda e terza potenza di δ' , siccome quantità estremamente piccole. Quindi comunemente ritienasi che il coefficiente di dilatazione cubica d'un corpo corrisponde al triplo del suo coefficiente di dilatazione lineare.

Dalle suesposte formole è facile dedurre quest'altre:

$$(123) \quad l'' = l' \frac{1 + \delta' t'}{1 + \delta t'}; \quad \text{e} \quad v'' = v' \frac{1 + \delta t'}{1 + \delta t},$$

ove l'' e v'' esprimono la lunghezza ed il volume alla temperatura t' di quel corpo che alla temperatura t presenta la lunghezza l' ed il volume v' . Si possono pur desumere le seguenti, che già si accennarono (§ 96) parlando dei pesi specifici dei corpi:

$$d'' = \frac{d}{1 + \delta t}; \quad d' = d' \frac{1 + \delta t}{1 + \delta t'},$$

nelle quali d , d' , d'' esprimono rispettivamente le densità d'un dato corpo alle temperature 0° , t e t' .

Tutte le precitate formole valgono anche pel caso che t o t' corrispondano a temperature inferiori allo zero; se non che in tali casi si pongono come quantità negative le stesse temperature t o t' .

§ 168. Per i solidi, e massime per i metalli, che ponno essere foggiate in verghe prismatiche di qualche lunghezza, torna più comodo il determinare sperimentalmente il coefficiente della dilatazione lineare, ed il desumere quindi quello della dilatazione cubica. Muschenbroek immaginò un apparecchio che vale a render molto sentita in un solido la dilatazione lineare, per sé piccolissima: però un tale apparecchio presenta non pochi inconvenienti, che furono ovviati in gran parte coi processi ideati da Lavoisier e Laplace e da Ramsden, e meglio ancora coi processi di Borda e di Pouillet. Ma altri fisici, come Dulong e Petit e Kopp, si valsero di altro processo, che porge direttamente il coefficiente della dilatazione cubica anche pei solidi.

Troppo lunga cosa sarebbe il descrivere questi varii processi, i quali d'altronde s'intendono facilmente coll'ispezione de' modelli o de' rispettivi disegni.

Diremo solo di quello di Pouillet. La verga solida da sperimentare, a sezione rettangolare, è sostenuta da alcune mensoline entro una cassa parallelepipedica, quasi piena d'acqua o d'olio, secondo la tem-

peratura cui la si vuol elevare, mercè un fornello sul quale posa il lungo della cassa. Una delle dette mensoline permette di ridurre orizzontale la verga o meglio uno spigolo diedro di essa, presso gli estremi del quale sono tracciate normalmente ad esso alcune righe finissime di mira; queste devono riescire visibili attraverso due aperture, praticate in un fianco della cassa e chiuse da lastre di vetro a faccie ben parallele. Parallelamente all'asse della verga, all'esterno della cassa e sovra solido sostegno, evvi un esatto stromento di misura. Consiste in un'alidada che può ruotare orizzontalmente attorno un centro *o*, portando seco un cannocchiale ad essa perpendicolare: l'altro estremo dell'alidada scorre in prossimità d'un arco di cerchio concentrico col punto *o*, le cui divisioni si leggono con apposito microscopio *M*. Un altro cannocchiale *L'* è fisso sul sostegno in prossimità dell'estremo libero dell'alidada, il quale può liberamente muoversi al disotto di esso. Innanzi lo scaldamento, essendo ben determinata la temperatura del bagno, si riduce coincidente col filo di traguardo del cannocchiale *L'* una delle righe di mira dell'estremo corrispondente della verga, poscia si ruota dolcemente l'alidada, cosicchè il filo del cannocchiale *L* coincida con una divisione dell'altro estremo della verga. Allora si scalda il bagno sino ad altra

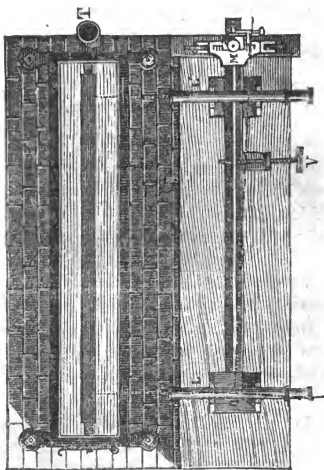
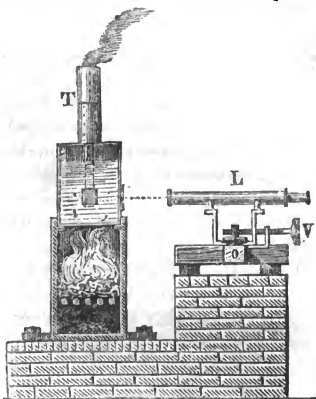


Fig. 133.

ben determinata temperatura, durante la quale, col mezzo d'una vite applicata ad una delle dette mensoline, si riconduce sotto il filo del cannocchiale L' la divisione di prima mira, indi col mezzo della vite micrometrica V si muove l'alidada sì che essa pure traguardi ancora la propria divisione. Col microscopio si legge allora sull'arco di cerchio lo spostamento dell'alidada. Con ciò s'argomenterà l'allontanamento avvenuto nella verga (fra le due righe di mira) pel dato aumento di temperatura, qualora con preventive prove, sostituita al luogo stesso della verga un'asta portante divisioni minute, si determina con esattezza quale spostamento devasi produrre nell'alidada perchè il filo del cannocchiale L sorpassi un dato numero di divisioni.



Fig. 134.

Nel processo di Dulong e Petit si deduce il coefficiente di dilatazione cubica d'un solido, introdotto in un recipiente di vetro, pieno nel resto di mercurio, e del vano del recipiente, col determinare il peso p del mercurio che sorge da esso per un sottile beccuccio, in dipendenza d'un determinato

aumento nella temperatura, mercè la relazione:

$$(124) \quad v_s \delta t + v_m \delta' t - v_r \delta'' t = p \frac{d}{1 + \delta' t},$$

dove v_s , v_m e v_r esprimono i volumi del solido, del mercurio contenuto, e del vano del recipiente, rispettivamente alla iniziale temperatura, t l'aumento totale di temperatura, che in essi tutti si produce, t' la metà di questo aumento, δ , δ' e δ'' i coefficienti di dilatazione del solido, del mercurio e del vetro, e d la densità del mercurio a 0° .

Però, in generale, per i solidi il coefficiente di dilatazione lineare si determina sperimentalmente, prendendo il valor medio di esso da 0° a 100° .

Raccogliamo nel seguente quadro il valor medio del coefficiente di dilatazione lineare per alcuni metalli, desumendolo dall'insieme delle più attendibili esperienze, esclusi però quei dati che troppo si discostavano dal valor medio medesimo:

Platino	0,00000867	Rame	0,00001722
Antimonio	0,00001092	Ottone	0,00001869
Acciajo non temp.	0,00001114	Argento puro	0,00002002
Ferro dolce	0,00001223	Stagno	0,00002200
Bismuto	0,00001362	Piombo	0,00002857
Oro puro	0,00001443	Zinco	0,00002984

Dai precitati risultamenti sperimentali si traggono altresì i seguenti corollarj, valevoli però soltanto pei corpi solidi a struttura omogenea, e non cristallizzati:

a) *Per un dato corpo a struttura uniforme la dilatazione succede con egual misura in tutte le sue dimensioni*; epperò ne' corpi cavi essa si effettua del pari che se fosser pieni o compiti.

b) *La dilatazione appare sensibilmente uniforme per le temperature comprese da 0° a 100° C.* Però, progredendo mano mano alle temperature più elevate, il coefficiente di dilatazione subisce un incremento continuo, benchè non proporzionato a quello della temperatura, come emerge dai seguenti valori dei coefficienti medi di dilatazione lineare entro diversi limiti di temperatura, quali risultano dalle sperienze di Dulong e Petit:

	Tra 0° e 100°	Tra 0° e 300°	Rapporto
Vetro . . .	0,000068613	0,000010108	1 : 1,1736
Platino . . .	0,000008842	0,000009183	1 : 1,0386
Ferro . . .	0,000011821	0,000014684	1 : 1,2422
Rame . . .	0,000017182	0,000018832	1 : 1,0960

Regnault, da alcune sue esperienze su la dilatazione del vetro ordinario, sotto differenti temperature, dedusse i seguenti coefficienti medi di dilatazione lineare:

Fra 0° e 50°	0,00000827	Fra 0° e 200°	0,00000880
» 100	0,00000843	» 300	0,00000917

c) *La dilatabilità d'una data sostanza varia secondo lo stato d'aggregazione delle sue molecole.* Così i diversi lavori, che si fanno subire ai metalli col martello, col laminatoio, colla filiera e colla tempera, ne modificano sensibilmente la dilatazione. Lo spato calcare e l'aragonite, benchè sieno corpi isomeri, mostrano, come si indica più innanzi, una ben differente dilatabilità. Il vetro dà un diverso coefficiente, non solo in riguardo alla varia sua composizione, ma ancora secondo il diverso modo con cui è foggiato e lavorato.

d) *La dilatabilità de' metalli è, in generale, maggiore di quella de' minerali.* Però sonvi dei corpi non metallici più dilatabili di parecchi metalli. Ecco, ad esempio, secondo Kopp i coefficienti di dilatazione cubica per alcuni minerali:

Ossido stannico . . .	0,000016	Rutilo	0,000032
Spato calcare . . .	0,000018	Pirite di ferro . . .	0,000034
Ortoso	0,000026	Carbonato ferroso . .	0,00 035
Calamita	0,000029	Dolomite	0,000035

Blenda	0,000036	Celestina	0,000061
Ossido ferrico	0,000040	Spato fluore	0,000062
Quarzo	0,000042	Aragonite	0,000065
Solfato baritico . . .	0,000058	Galena	0,000068

e) Queste sperienze di Kopp mostrano altresì che la dilatabilità non ha relazione colla costituzione chimica dei minerali, cioè col modo d'aggruppamento delle molecole componenti; essendovi corpi di formola analoga con dilatabilità molto differente, e corpi egualmente dilatabili aventi formole differenti. Quindi la dilatabilità, come altre proprietà fisiche dei corpi solidi — tenacità, elasticità, velocità del suono, consistenza, durezza, ecc., — ha relazione anzitutto colla struttura fisica dei corpi, ossia colla mutua distanza delle molecole composte e col loro modo d'aggruppamento.

f) I corpi riscaldati, nel raffreddarsi, riprendono lentamente le prime dimensioni, qualora però il riscaldamento non sia stato molto elevato, cioè ove questo sia ancora notevolmente discosto dalla loro rispettiva temperatura di fusione. Il vetro però, scaldato a temperature superiori appena a 100°, non ripiglia che dopo alcuni mesi il pristino volume: e da qui lo spostamento dello zero ne' termometri a mercurio, accennato retro a pag. 218.

§ 169. Nei corpi cristallizzati la dilatazione non procede egualmente nelle diverse direzioni rispetto agli assi di cristallizzazione. Mitscherlich (1824) fece le seguenti osservazioni: 1.° I cristalli appartenenti al sistema regolare, e che perciò non godono della doppia rifrazione, si dilatano ugualmente in tutte le direzioni, e quindi col variare della temperatura, non presentano alcuna mutazione nei loro angoli; 2.° I cristalli la cui forma primitiva è un romboedro od un prisma esaedro, ne' quali la doppia refrazione è dipendente da un solo asse. in opera del calore si comportano nella direzione del loro asse principale in modo diverso che nelle direzioni degli assi accessori, secondo i quali le variazioni accadono in pari misura; 3.° I cristalli la cui forma primitiva è un ottaedro regolare, ne' quali la doppia rifrazione è dipendente da due assi, si dilatano in differenti misure secondo le diverse direzioni; 4.° La dilatazione dei cristalli nelle diverse direzioni è sempre collegata colla posizione degli assi di cristallizzazione, e quindi cogli assi ottici: in generale gli assi minori si dilatano proporzionalmente di più dei maggiori, oppure si dilatano da soli, mentre quest'ultimi si restringono. Secondo alcune prove di Mitscherlich e Dulong, i cristalli di spato islandico per la variazione nella temperatura da 0° a 100° si dilatano nella direzione dell'asse di 0,00263, e si contraggono nelle direzioni ad esso perpendicolari di 0,00049.

Le argille, pur quando siano spogliate dell'umidore rinchiuso, vanno sempre più restringendosi coll'assoggettarle a temperature più e più elevate, forse perchè accade una più intima unione de' loro componenti. Però raffreddate che siano, ove le si scaldino di nuovo sino ad una temperatura non eccedente quella cui furono dianzi scaldate, subiscono graduali dilatazioni, al pari degli altri corpi; se non che, oltrepassando quest'ultima temperatura, vanno ancora restringendosi. Il pirometro (da $\pi\sigma\rho$, fuoco) di Wedgwood (1782), adoperato a scandagliare la temperie ne' forni fusori, riposa su codesta proprietà delle argille; ma non è uno strumento di precisione, come dimostrò Daniell.

§ 170. Su la varia dilatabilità de' differenti solidi riposano i termometri di Breguet, di Holzmann e di Régnier, ed i pirometri di Borda, di Brongniart e di Curioni. Il termometro di Breguet (fig. 135), formato con una sottile spirale bimetallica (platino ed argento), va distinto per prontezza nelle sue indicazioni, attesa la scarsa massa del corpo termometrico, la molta sua superficie e la notevole sua con-

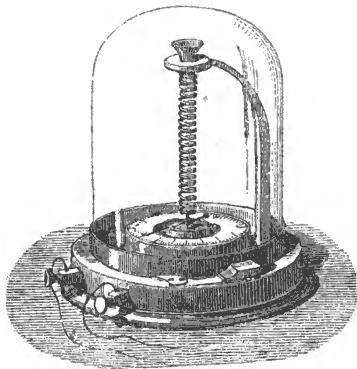


Fig. 135.

duttività termica. La curvatura d'ogni spira subisce una modificazione in opposto senso, secondo che accade un aumento od una diminuzione nella temperatura; e tutte queste modificazioni cospirano a far variare la posizione dell'indice applicato all'estremo inferiore e libero della spirale, mentre l'estremo superiore di questa sta fisso e regge tutto il peso di essa e dell'indice. Al disotto di questo sta un cerchio, che vien graduato mediante ripetuti confronti colle indicazioni di un buon termometro.

E per la diversa dilatabilità dei metalli si formano tali congegni, che valgono a rendere nelle aste oscillanti e regolatrici del moto negli orologi sensibilmente costante la distanza dell' asse di oscillazione dall'asse di sospensione, non ostante le variazioni nella lunghezza delle aste medesime, prodotte dalle variazioni nella temperatura dell'ambiente. Ove raggiungasi un tale intento, l'orologio od il cronometro (da χρόνος tempo) dicesi a *compensazione*.

Negli orologi regolati da pendoli oscillanti in un piano verticale si ottiene la compensazione con differenti mezzi: ma il più usitato è quello di tener sospesa la lente per mezzo di due o più telaj, formati con due diversi metalli, e sistemati tra loro per modo che dove l'allungamento o l'accorciamento prodotto nelle aste verticali dell'un, metallo tende ad abbassare od a sollevare il centro d'oscillazione-

l'analogha variazione prodotta nell'altre aste determina un moto in senso opposto nel centro stesso. In allora, per una prima approssimazione, onde determinare le lunghezze relative delle aste de' due metalli, si ricorre a questa formola:

$$(125) \quad l = L \frac{\delta}{\delta' - \delta},$$

ove δ' e δ esprimono i coefficienti di dilatazione lineare del metallo più dilatabile e del meno dilatabile, L la lunghezza del pendolo semplice, che batte i minuti secondi nel luogo ove deve funzionare lo stromento, ed l la complessiva lunghezza da assumersi per le aste del metallo più dilatabile.

Può ottenersi tal compensazione anche con un'asta metallica portante un vaso, a sezione ellittica, contenente mercurio, il quale, dilatandosi, solleva il proprio centro di massa, nel mentre l'asta, allungandosi, lo abbassa (fig. 136).



Fig. 136.

§ 171. Un solido, nel dilatarsi o nel restringersi in opera delle variazioni nella temperatura, potrà esercitare su altri corpi un'azione comprimente o distraente, eguale all'azione meccanica distraente o comprimente richiesta a produrre in esso un'egual variazione nelle sue dimensioni. Posto e il coefficiente di elasticità d'una verga solida prismatica o cilindrica, la cui sezione trasversale espressa in millimetri quadrati sia s , e posto δ il

di lei coefficiente di dilatazione lineare, la forza f espressa in chilogrammi, che essa potrà esercitare nel senso della sua lunghezza

su altri corpi coi quali sien connesse le di lei estremità, in causa della variazione d'un numero t di gradi centigradi nella temperatura, sarà data dalla formola:

$$(123) \quad f = 10000 e \delta s t,$$

e quest'azione sarà comprimente o distraente, secondo che t corrisponderà ad un aumento o ad una diminuzione nella temperatura. Ma qualora il solido, nel variare di temperatura, tende ad esercitare una trazione sui corpi con esso sistemati, non potrà spiegare una forza eccedente il suo limite di tenacità (§ 104) in relazione alla propria sezione. Beaudant si valse di cosiffatta forza per coniar monete, e Molard per raddrizzar pareti d'una vasta sala, che s'eran divaricate pel soverchio peso della volta. E se ne potrebbero trarre molt'altre utili applicazioni (a).

Dilatazione termica nei liquidi.

§ 172. Per i liquidi, il più delle volte, si tien conto della loro dilatazione cubica. Se non che, dovendo essi star contenuti entro corpi solidi, si suol distinguere la dilatazione apparente dalla reale. Chiamasi *coefficiente di dilatazione propria* di un liquido il reale aumento di volume che si verifica nell'unità di volume del medesimo grazie all'incremento di 1° nella sua temperatura, astrazion fatta dall'aumento di capacità in pari tempo avvenuto nel vaso che lo rinchiude, ovvero supponendo questo inestensibile. Ingegnoso è il metodo usato da Dulong e Petit per giungere direttamente a siffatta determinazione, senza aver riguardo alle dilatabilità del recipiente. Essi si occuparono specialmente del mercurio, come di quel liquido che ha vari ed importanti usi nella fisica.

Si è visto sopra (§ 83) che, ne' vasi comunicanti, due liquidi di diversa densità si riconducono in equilibrio, quando le altezze delle rispettive superficie libere sopra la superficie di loro mutuo contatto siano inversamente proporzionali alle densità loro. Ora, poichè in un

(a) Però con riguardo a questa forza, vuolsi badare che le diverse parti metalliche, che entrano nelle varie costruzioni, massime quando abbiano notevoli dimensioni, siano situate e collegate per modo da prestarsi alle variazioni in esse prodotte dal mutare della temperatura ambiente, senza turbare la stabilità delle altre parti della costruzione. E pur quando i corpi solidi, segnatamente ove siano poco conduttori del calore, vengano a risentire, per artificiale scaldamento, temperature assai differenti nelle varie parti della loro massa, subiscono sensibili contorcimenti o screpolature, e talora anche spontanee fratture.

dato liquido col mutare la temperatura muta la densità in ragione reciproca dei volumi, così le variazioni di questi si potranno argomentare dalle variazioni nelle predette altezze. Abbiasi perciò del mercurio ben puro in due tubi cilindrici e coi loro assi verticali, comunicanti per mezzo d'un cannelo capillare avente il suo asse orizzontale. Si mantenga l'uno di essi ad una temperatura costante, quale ottiensi involgendolo con ghiaccio sminuzzato, mentre l'altro tubo sta in un bagno ad acqua o ad olio, che si scalda a diverse temperature, ogni volta però ben determinate con opportuno termometro. Allora misurando in ogni caso, con un buon catetometro, le altezze a ed a' delle due superficie libere del mercurio ne' due tubi sovra l'asse del detto cannelo, s'avrà modo di assegnare il coefficiente medio δ di dilata-

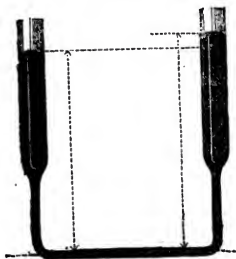


Fig. 137.

zione cubica e reale del mercurio ne' limiti delle temperature 0° e t del mercurio contenuto in ciascuno de'tubi, mercè la:

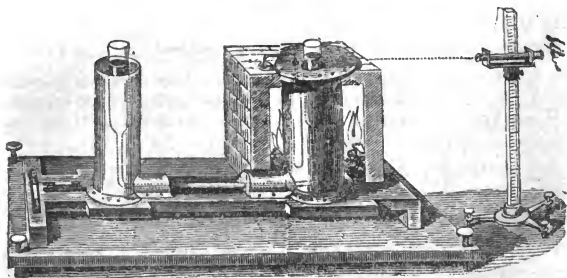


Fig. 138.

zione cubica e reale del mercurio ne' limiti delle temperature 0° e t del mercurio contenuto in ciascuno de'tubi, mercè la:

$$(127) \quad \delta = \frac{a' - a}{a t}.$$

Regnault, basandosi su lo stesso principio, ma valendosi d'un apparecchio in cui le varie fonti d'errore erano ovviate od attenuate, meglio che in quello di Dulong e Petit, rinnovò codesta indagine, facendo un gran numero di esperienze a temperature comprese da 0° a 300° . Poi, col metodo delle coordinate ortogonali, segnando ai

punti rappresentativi dei singoli risultati sperimentali, tracciò la curva rappresentante, per approssimazione, la legge empirica di dilatazione del mercurio. Indi, valendosi della formola:

$$\delta t = at + bt^2$$

(ove δt esprime la dilatazione assoluta del mercurio da 0° alla temperatura t), determinò i convenienti valori delle costanti a e b , pei quali $\log a = \overline{4},2528690$; $\log b = \overline{8},4019441$. Di poi, costruendo graficamente la curva rappresentata da una tal formola, la trovò rappresentatrice delle osservazioni in un modo abbastanza soddisfacente, cioè concordante colla precedente curva grafica. E quindi per mezzo della stessa calcolò il seguente quadro:

Temperatura del termometro ad aria	Dilatazione del mercurio da 0° a T	Coefficiente medio di dilatazione da 0° a T	Coefficiente reale di dilatazione corrispondente alla temperatura
T	δt	δ	T
0°	0,000000	0,00000000	0,00017905
50	0,009013	0,00018027	0,00018152
100	0,018153	0,00018153	0,00018405
150	0,027419	0,00018279	0,00018657
200	0,036811	0,00018405	0,00018909
250	0,046329	0,00018531	0,00019061
300	0,055973	0,00018658	0,00019413
350	0,065743	0,00018784	0,00019666

La prima colonna del precedente quadro indica le temperature T, espresse da un termometro ad aria, alle quali si suppone scaldato il mercurio. La 2.^a colonna esprime la dilatazione assoluta, che si verifica nell'unità di volume del mercurio, passando da 0° alla temperatura T; e questa dilatazione la si nota δt . Nella 3.^a colonna si espone il valore medio del coefficiente di dilatazione assoluta del mercurio per le temperature comprese da 0° a T; il qual valore si ottiene dalla formola $\delta = \frac{\delta t}{T}$. La 4.^a colonna porge il coefficiente

di dilatazione assoluta del mercurio relativo alla temperatura T, cioè l'aumento di volume dell'unità di volume del mercurio scaldato da T a T + δt .

§ 173. Per *coefficiente di dilatazione apparente* di un liquido, contenuto in un dato recipiente, s'intende l'aumento di volume che si osserva per l'unità di volume del liquido medesimo scaldato di 1° C.,

non ostante l'aumento di volume che in pari tempo si verifica nella unità di volume del recipiente medesimo.

In generale i liquidi essendo più dilatabili dei solidi, sempre accade, dietro un incremento od un decremento nella temperatura, che il livello del liquido si elevi o si deprima rispetto alle pareti del recipiente, e quindi che il volume del liquido appaia aumentato o diminuito, quantunque avvenga pure un ingrandimento od un restringimento nella capacità del recipiente medesimo. Però è evidente che la dilatazione apparente per un dato liquido varierà col mutare la natura ossia la dilatabilità del solido ond'è formato il recipiente, e che la dilatazione apparente sarà in ogni caso minore della dilatazione assoluta: essendo che la prima corrisponde a quest'ultima diminuita della dilatazione cubica di quella porzione della capacità del recipiente che è investita dal liquido. D'ordinario però il solido, cui si riferisce la dilatazione apparente de' vari liquidi, è il vetro.

Posti δ e δ' i coefficienti di dilatazione cubica rispettivamente del liquido e del solido che lo contiene, v e v' i volumi apparenti del liquido a 0° ed a t , il coefficiente di dilatazione cubica apparente sarà dato dalla:

$$(128) \quad \delta - \delta' = \frac{v' - v}{v t}.$$

Gay-Lussac, Dulong e Petit, e Regnault si occuparono in ispecial modo della dilatazione apparente del mercurio nel vetro, essendo questa un'indagine fondamentale per la termometria; però si valsero di differenti processi. Per le temperature comprese fra 0° e 100° Dulong e Petit trovarono per coefficiente medio della dilatazione cubica del mercurio nel vetro 0,000154321. Ma, per quanto si disse sopra su la varia dilatabilità del vetro, è chiaro che il detto coefficiente aver deve un diverso valore, non solo secondo la natura del vetro, ma ancora secondo il modo con cui venne lavorato. E lo stesso dicasi per la dilatazione apparente nel vetro di tutti gli altri liquidi: se non che questi, eccetto l'acqua, essendo più dilatabili del mercurio, presenteranno meno sensibili differenze nel loro coefficiente di dilatazione apparente entro diversi recipienti di vetro.

I metodi finora seguiti per sperimentare su la dilatazione apparente dei liquidi sono: il metodo dei confronti termometrici; il metodo della bilancia idrostatica; ed il metodo delle boccette, quale lo si usa per la determinazione dei pesi specifici.

Mercè la (128) è facile vedere che, qualora si conosca il coefficiente δ di dilatazione cubica reale del mercurio, come s'è visto sopra (§ 172), si può determinare il coefficiente δ' di dilatazione cubica del vaso che lo contiene. E, conosciuto poi questo coefficiente δ' , si potrà

determinare il coefficiente δ di dilatazione reale di altro liquido posto nel recipiente stesso, ancora mercè la (128). Inoltre, dietro la cognizione di questi due elementi, si può desumere la dilatazione cubica di un solido il quale si possa introdurre nel recipiente insieme con un liquido che non lo disciolga, nè eserciti azione chimica su di esso, come fecero Dulong, Petit e Kopp (pag. 292).

§ 174. Il coefficiente di dilatazione per tutti gli altri liquidi, tranne il mercurio, varia sensibilmente colle temperature, anche poc' oltre lo 0°. Deluc (1784) mise in rilievo questo fatto, confrontando le indicazioni d'un termometro a mercurio con quelle di termometri preparati con diversi liquidi, ma graduati però colle stesse regole suindicate pel termometro a mercurio.

Trovò infatti per tutti gli altri liquidi crescente la dilatazione colla temperatura. Che però gli oli fissi ed essenziali mostrano un incremento nella dilatazione minore che l'alcole. L'acqua poi, qualora sia pura, presenta una dilatazione molto irregolare. È rimarchevole che l'alcole commisto ad acqua — finchè questa nella miscela non ecceda la proporzione di parti eguali — presenta una dilatabilità poco differente da quella dell'alcole puro. E d'altra parte l'acqua satura di sal comune offre una dilatabilità abbastanza regolare.

È pur notevole che l'acqua, scaldata gradatamente da 0° a temperature superiori, in luogo d'andar successivamente crescendo di volume, presenta una rapida condensazione ad una temperatura di qualche grado superiore allo zero: e di poi va continuamente e rapidamente aumentando di volume col crescere della temperatura. Esiste dunque per essa una temperatura nella quale raggiunge un *massimo di densità*. Molti fisici s'occuparono di determinare con precisione cotesta temperatura (a).

Si ritiene però che la temperatura per cui l'acqua distillata offre la densità massima, sia tanto prossima a 4°, da potersi assumere questa come la vera, senza notevole errore (b).

Rossetti calcolò con diligenza i valori medi delle risultanze avute da Despretz, Pierre, Kopp, Hagen, Matthiessen e da lui stesso, e ne

(a) Despretz (1837) per tre serie di osservazioni trovò 3°,99; 4°,01 e 3°,96, e per medio di 18 sperienze 4°,002; mentre con altro metodo ottenne 3°,982. Posteriormente Pierre (1845 e 52) ottenne 3°,86; Kopp (1847) 4°,08; Hagen (1855) 3°,87; Matthiessen (1863) 4°,00, e Rossetti in due serie di sperimenti (1865 e 68) 4°,07 e 4°,04.

(b) Per questo fatto del massimo di densità nell'acqua pura s'intende come in tutte le stagioni dell'anno la temperatura dell'acqua nei più profondi strati dei laghi si mantenga assai prossima a 4°. E l'esistenza di un massimo di densità anche per l'acqua marina, molto influisce nella distribuzione del calore in seno alle acque che rivestono gran parte del nostro pianeta.

dedusse il seguente specchio, esprimente il volume e la densità dell'acqua a diverse temperature, prendendo per unità, rispettivamente, il volume e la densità dell'acqua stessa a 4°.

Temp.	Volume	Densità	Temp.	Volume	Densità
— 10°	1,001858	0,998145	18°	1,001348	0,998654
— 9	575	427	19	542	460
— 8	317	685	20	744	259
— 7	089	911	21	957	047
— 6	1,000883	0,999118	22	1,002177	0,997826
— 5	702	298	23	405	601
— 4	545	455	24	641	367
— 3	410	590	25	888	120
— 2	297	703	26	1,003144	0,996866
— 1	203	797	27	408	603
0	129	871	28	682	331
+ 1	72	928	29	965	051
2	31	0,999969	30	1,004253	0,995765
3	09	0,999991	35	1,00586	0,99418
4	1,000000	1,000000	40	770	235
5	10	0,999990	45	971	137
6	30	970	50	1,01195	0,98820
7	67	933	55	439	582
8	114	886	60	691	338
9	176	824	65	964	074
10	253	747	70	1,02256	0,97794
11	345	655	75	566	498
12	451	549	80	887	194
13	570	430	85	1,03221	0,96879
14	701	299	90	567	556
15	841	160	95	931	19
16	999	002	100	1,04312	865
17	1,001160	0,998841			

Sono pure molto interessanti gli studi del Rossetti sul massimo di densità di alcune soluzioni di cloruro sodico, secondo la quantità in peso del sale in esse disciolto:

Quantità del sale per 100	Densità a 0°	Temperatura del massimo	Densità a tale temperatura
0	1.	+ 4°,0	1,000130
0,5	1,003925	+ 3,0	1,003988
1	1,007634	+ 1,77	1,007666
2	1,015366	— 0,58	1,015367
3	1,023530	— 3,24	1,023583
4	1,030669	— 5,63	1,030890
6	1,045975	— 11,07	1,046952

Sperimentando poi il Rossetti su l'acqua del mare Adriatico, trovò nel giugno, il massimo a $-3^{\circ},21$ quando l'acqua aveva la densità 1,02670 a 0° ; mentre, in novembre essendo maggiore la quantità relativa del sale, il massimo si verificò a $-3^{\circ},90$ colla densità 1,02814 a 0° .

§ 175. T. Young, e quindi Biot immaginarono si potesse rappresentare la legge della dilatazione de' diversi liquidi a mezzo di una equazione della forma :

$$\delta t = a t + b t^2 + c t^3 + d t^4,$$

ove t esprime l'aumento di volume, reale od apparente, subito dall'unità di volume del liquido per un incremento nella temperatura espresso da t , ed a, b, c, d sono quattro costanti, il cui valore, variabile da uno ad altro liquido, vien determinato per ciascun liquido, secondo il metodo dei minimi quadrati degli errori, in base ai diversi valori osservati di δt , corrispondenti a quattro o più valori di t , tra loro convenientemente discosti.

Pierre istitul (1846) col metodo termometrico, ed usando le massime cautele, una interessante serie di osservazioni su la dilatazione di dodici liquidi, da esso medesimo preparati con tutta diligenza. Confermò i risultati di Deluc in quanto che nessuno dei liquidi da lui sottoposti a prova ha un coefficiente di dilatazione costante, e che, tranne l'acqua, in tutti il coefficiente medesimo va crescendo coll'aumentare della temperatura.

Tutti gli altri liquidi sono ben più dilatabili dell'acqua, e ciascuno mostra una legge di dilatazione sua propria, partendo dalla temperatura 0° . Se si ordinano gli indicati liquidi secondo la loro crescente dilatabilità, partendo da 0° , si trova la serie : acqua, alcole etilico, ioduro d'etilo, solfuro di carbonio, alcole metilico, ioduro di metilo, etere formico etilico, etere acetico metilico, bromuro d'etilo, bromuro di metilo, etere etilico e cloruro d'etilo.

L'acqua soltanto, secondo Pierre, possiede un massimo di densità. L'alcole assoluto, da Pierre preparato con somma diligenza, avente la densità 0,81510 a 0° , e la cui composizione soddisfaceva esattamente alla formola dell'alcole anidro $C^4 H^6 O^2$, gli presentò in diverse esperienze una legge di dilatazione espressa dalla seguente formola, contate le dilatazioni e le temperature da 0° :

$$\delta t = 0,00104863 t + 0,000001751 t^2 + 0,00000001345 t^3.$$

Ecco le formole di dilatazione d'altri liquidi :

Alcole metil. $\delta t = 0,0011856 t + 0,000001565 t^2 + 0,000000009 t^3.$

Solfuro di carb. $\delta t = 0,0011398 t + 0,000001371 t^2 + 0,000000191 t^3.$

Etere $\delta t = 0,0015132 t + 0,000002359 t^2 + 0,000000040 t^3.$

Bromo $\delta t = 0,0010332 t + 0,000001711 t^2 + 0,0000000054 t^3.$

Meritano pure ricordo i seguenti risultati delle osservazioni di Drion sul valore rapidamente crescente del coefficiente di dilatazione in alcuni liquidi, ottenuti da gas condensati colla pressione:

Temperatura	Etere cloridrico	Acido ipoazotico	Acido solforoso
0°	00,01482	0,001445	0,001734
30	1811	1706	2192
60	2202	2230	2846
90	2910	0,003081	4147
120	0,004306		0,007565

Non solo qui è notevole il rapido aumento nel valore di codesto coefficiente col crescere della temperatura, ma più assai il vedere che il coefficiente stesso raggiunge in alcuni di questi liquidi valori superiori a quelli dell'aria e dei gas, i quali, come vedremo qui presso, stanno compresi fra 0,00367 e 0,00390.

Dilatazione termica dei gas.

§ 176. La dilatabilità dei fluidi aeriformi in opera del calore è molto maggiore di quella dei fluidi liquidi, essendo nei primi pressochè nulla la coesione. Anche nei fluidi aeriformi non si ha quasi mai riguardo alla loro dilatazione lineare; onde si tien conto unicamente della loro dilatazione cubica. Ma questa può determinarsi in due modi. O si mantiene costante nel gas la forza espansiva, serbandolo soggetto ad una costante pressione, nel mentre che si eleva in esso la temperatura di un grado, e si rileva direttamente l'aumento di volume avvenuto nell'unità di volume del gas: il qual aumento dicesi *coefficiente di dilatazione a pressione costante*. Oppure si mantiene costante nel gas il volume, col sottoporlo a pressioni opportunamente crescenti, nell'atto che lo si scalda di un grado, e quindi dall'aumento avvenuto nella sua forza espansiva si deduce indirettamente, cioè valendosi della legge di Boyle (§ 116), l'aumento di volume che presenterebbe ogni unità del suo volume, restituendola alla primiera pressione; e l'aumento così valutato dicesi *coefficiente di dilatazione a volume costante* del gas medesimo.

Felice Fontana (1767) merita d'esser ricordato tra i primi che tentarono di determinare il rapporto fra la dilatazione e la temperatura dei gas. Però il Volta (1793) fu il primo ad istituire alcune precise esperienze per determinare il coefficiente di dilatazione dell'aria a pressione costante, mostrando che le divergenze fra i risultati de' precedenti osservatori dipendevano dal non essere stata l'aria spogliata affatto di vapor acqueo e che qualora essa sia ben secca si

dilata uniformemente di 0,003704 per ogni grado centesimale; però correggendo questo risultato per la dilatazione del recipiente di vetro (della quale egli non tenne conto), si avrebbe per il detto coefficiente 0,00373. Di questo argomento s'occuparono Dalton e più diligentemente Gay-Lussac, il quale per un tal coefficiente ottenne il valore 0,00375.

Gay-Lussac poi credette che tutti i gas permanenti fossero egualmente ed uniformemente dilatabili, e che perciò il detto coefficiente 0,00375 valesse non solo per l'aria, ma ancora per tutti gli altri gas. In così fatta credenza si tennero pressochè tutti i fisici, finchè Rudberg nel 1834 dimostrò essere il coefficiente di dilatazione dell'aria notevolmente minore del valore assegnatogli da Gay-Lussac e finchè Regnault e Magnus nel 1841 dimostrarono essere sensibilmente diverso ne' varii gas il coefficiente di dilatazione, e non essere tutti uniformemente dilatabili col progressivo aumentare della temperatura.

Perchè il gas riesca ben secco nel pallone di prova, dopo aver

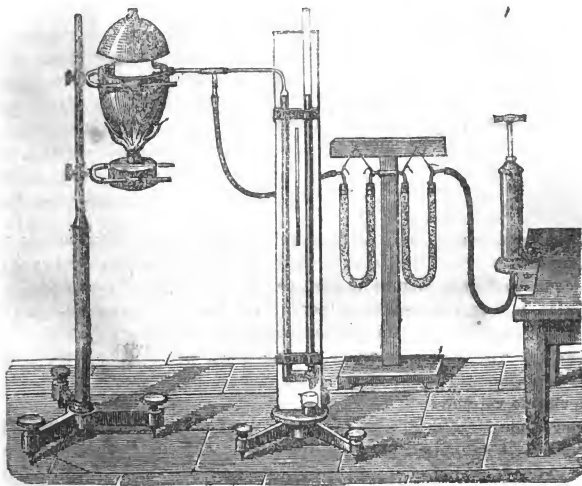


Fig. 139.

vuotato questo, mercè una pompa, mentr'è scaldato dal vapore d'acqua bollente, vi si lascia entrare il gas, obbligandolo a passar prima per

una serie di tubi d'essiccamento. Anzi giova ripeter più volte quest'operazione del vuotare e riempire alternativamente col gas essiccato, onde asciugare per bene anche l'interna superficie del pallone. Vuolsi infine riempire di tal gas il pallone stesso mentr'è involto dal ghiaccio.

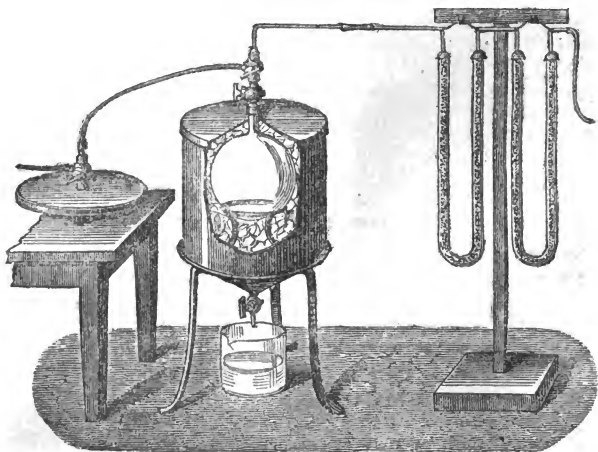


Fig. 140.

sminuzzato, perchè esso vi raggiunga la densità corrispondente alla temperatura 0° . Allora si scalda di nuovo il pallone col vapore d'acqua bollente, mentre il gas, per mezzo di sottile cannello, comunica con un manometro a mercurio a due tubi paralleli.

E qui, o si opera a pressione costante, e si rileva l'occorso aumento di volume nel gas; oppure si opera a volume costante, e si rileva l'aumento nella pressione richiesto per ridurre il gas caldo al pristino volume.

Seguendo il primo metodo, posto v il volume a 0° d'una data massa di gas, δ il suo coefficiente di dilatazione cubica, δ' quello del recipiente e v' il volume apparente del gas scaldato a t , s'avrà:

$$(129) \quad \delta = \frac{v' - v}{v t} + \delta'.$$

Seguendo invece l'altro metodo, poste b e b' le colonne di mer-

curio a 0°, che colla loro pressione equilibrano la tensione del gas quand'è rispettivamente a 0° ed a t sotto uno stesso volume, s'avrà:

$$(130) \quad \vartheta = \frac{b' - b}{bt} + \vartheta'.$$

Regnault institui su l'aria cinque serie di osservazioni, con processi tra loro differenti, ed ebbe: per medio di 51 determinazioni a volume costante il coefficiente 0,0036646, ed operando a pressione costante, 0,0036707.

Quest'ultimo valore dovrebbe adottarsi per quelle esperienze in cui l'aria è libera di dilatarsi, serbando invariata la forza elastica; ed il valore 0,003665 quando l'aria non può espandersi liberamente. Babinet osserva che ove si assumesse, per la dilatazione da 0° a 100°, il valore 0,36666, molto prossimo al precedente, esso equivarrebbe alla frazione $\frac{11}{30}$, assai comoda per i calcoli numerici.

Sperimentando sovra diversi altri gas coi medesimi differenti processi, e ripetendo per ciascuno non poche determinazioni, Regnault ottenne i seguenti valori medii pei coefficienti di dilatazione:

	A pressione costante	A volume costante
Idrogeno	0,0036613	0,0036678
Azoto . . . . .	.....	0,0036682
Ossido di carbonio	0,0036688	0,0036667
Acido carbonico	0,0037099	0,0036864
Protossido d'azoto	0,0037195	0,0036756
Cianogeno	0,0038767	0,0038290
Acido solforoso	0,0039028	0,0038453

Pertanto i diversi gas presentano coefficienti di dilatazione sensibilmente differenti tra loro; e di più questi, per ciascun gas, hanno un differente valore, secondo che si determinano direttamente, mantenendo costante nei gas la forza elastica, oppure indirettamente, colla legge di Boyle, mantenendoli sotto un costante volume. È rimarchevole che le dette differenze sono più sensibili tra i coefficienti di dilatazione a pressione costante (onde si rileva anche da ciò non essere la legge di Boyle egualmente applicabile a tutti i gas); e che i gas suscettibili d'esser liquefatti a pressioni non molto elevate, ossia quelli che già si disse essere i più compressibili (§ 140 e 141), sono anco i più dilatabili per opera del calore.

Regnault volle altresì sperimentare la dilatabilità dei gas, presi in condizioni iniziali di pressione molto differenti. E prima, valendosi dei metodi a volume costante, trovò che l'aria, ed assai più l'acido carbonico, riescono tanto più dilatabili quanto maggiore è la

pressione e quindi la loro densità, ossia quanto più accostate sono le loro molecole. Questo fatto risulta ancor più evidente, adoperando il metodo a pressione costante come dai dati seguenti:

	Press.	Coeffic.	Press.	Coeffic.
Idrogeno . . .	mm. 760,	0,0036613	mm. 2545	0,0036616
Aria	id.	36706	2620	36964
Acido carbonico	id.	57066	2520	38455
id. solforoso	id.	39028	980	29804

È notevole che l'idrogeno mostra una dilatabilità che non muta sensibilmente col variare della pressione da 1,0 a 3,4 atmosfere. Il che concorda con ciò che si notò rispetto alla sua compressibilità. Laddove l'acido solforoso presenta una dilatabilità rapidamente crescente colla sua densità, da che, per l'aumento nella pressione di solo un terzo d'atmosfera, il suo coefficiente varia nel rapporto di 390 a 398, benché cotesta pressione sia ancora un po' discosta da quella corrispondente alla liquefazione del medesimo gas.

È però probabile che la maggior parte dei vapori abbiano coefficienti di dilatazioni molto differenti da quello dell'aria, lorquando si avvicinano al loro punto di liquefazione, e quindi nelle più comuni circostanze in cui trovansi nelle fisiche esperienze.

Inoltre le differenze tra i coefficienti di dilatazione ne' diversi gas si rendono tanto maggiori quanto è più grande la pressione sotto la quale si considerano di confronto. Così l'aria atmosferica e l'idrogeno, che hanno una dilatabilità poco differente alle pressioni ordinarie, differiscono notevolmente sotto pressioni 3 a 4 volte maggiori. E per converso i coefficienti di dilatazione dei diversi gas s'avvicinano tanto più ad esser tra loro uguali, quanto minori sono le pressioni cui vengono assoggettati, ossia quanto minori sono le loro densità.

Impertanto la legge della eguale dilatabilità di tutti i gas (asserita da Gay-Lussac) può considerarsi, al pari della legge di Boyle, come una *legge d'approssimazione*, valevole soltanto in certe condizioni di pressione o di densità, cioè quando i gas siano molto rarefatti: mentr'essa poi si scosta tanto più dalla realtà, quanto più densi sono i gas.

Posteriormente Regnault confermò i risultati delle precedenti esperienze, determinando direttamente, col mezzo delle pesate, la densità di alcuni gas a 0° ed a 100°, e deducendone il rispettivo coefficiente di dilatazione. Così per l'aria atmosferica, in 2 prove, ebbe per medio 0,003665; e per l'acido carbonico 0,003719. Per quest'ultimo gas rilevò altresì, che alla temperatura 0°, anche sotto pressioni più deboli dell'atmosferica, esso si scosta notevolmente dalla legge di Boyle; laddove a 100°, sotto le stesse deboli pressioni, segue sen-

sibilmente la detta legge. Calcolando poi, dietro i dati avuti, le densità che presenta l'acido carbonico, riferite a quelle dell'aria, presa nelle stesse circostanze di temperatura e di pressione, trovò:

<i>Alla temper. 0°</i>		<i>Alla temper. 100°</i>	
Pressione	Densità	Pressione	Densità
mill. 760,00	1,52910	mill. 760,00	1,52418
224,17	1,52145	383,39	1,52410

Emerge da ciò, che il peso molecolare di un gas, ove lo si calcoli in base alla sua densità (§ 121), potrà offrire differenze molto sensibili, secondo le temperature e le pressioni dalle quali si muove per determinare la densità stessa.

Appare inoltre probabile che i coefficienti di dilatazione pei vari gas abbiano ad approssimarsi all'eguaglianza anche coll'aumentare di molto la loro temperatura; epperò ancora col diminuire la densità.

Bisogna adunque che le molecole dei vari gas siano tra loro molto discoste e che in pari tempo sia energica la loro forza espansiva (condizioni che si ottengono insieme soltanto coll'elevarne la temperatura), affinchè si riducano nulli gli effetti della natura specifica delle molecole dei gas medesimi, e possan quindi le loro leggi di comprimibilità e dilatabilità presentare quel carattere di generalità, che non hanno sotto altre condizioni di temperatura e di pressione.

Tuttavia, per i gas permanenti e di difficile liquefazione, può ammettersi, se non come una legge esatta, come un semplice dato di approssimazione, nelle ordinarie circostanze, che *sotto volumi eguali de' diversi gas, presi ad egual pressione ed a temperatura eguale, si comprenda uno stesso numero di molecole.*

Questa legge teorica venne primamente formulata da Avogadro e poco più tardi da Ampère: ed è quindi nota sotto nome di legge d'Avogadro. Essa valer deve pei *gas perfetti*, cioè assai rari e ad alta temperatura, pei quali si verificchino le leggi di Boyle e di Gay-Lussac. I chimici moderni, come diremo innanzi, fondarono su questa legge le loro teorie su la costituzione dei corpi.

Principj di termometria.

§ 177. La misura delle temperature è uno dei più ardui problemi della fisica. Esso venne svolto con molta sagacia da Regnault.

Sarebbe un perfetto termometro quello, le cui indicazioni fossero proporzionali alle quantità di calore acquistate, ossia quello in cui l'addizione di eguali quantità di calore producesse dilatazioni sempre eguali. A soddisfare cotesta condizione sarebbe d'uopo, o che

la caloricità specifica e la dilatabilità del corpo termometrico fossero costanti per qualsiasi temperatura, oppure che questi due elementi variassero precisamente in ragione inversa l'uno dall'altro. Ma ancora un siffatto termometro non varrebbe ad indicare le quantità di calore ricevuto da un altro corpo, posto a pieno contatto con quello, se pur questo non presentasse la stessa proprietà del corpo termometrico, cioè ov'esso non richiedesse quantità eguali di calore per eguali variazioni nelle temperature date dal termometro.

Or sappiamo invece, che tanto la dilatabilità quanto la caloricità vanno crescendo coll'aumentare della temperatura, ma con un differente rapporto ne' diversi corpi; nè peranco si conoscono con precisione le leggi di siffatte variazioni.

Però, se un termometro non può darci un'esatta misura delle quantità di calore prese o cedute da un corpo, dovrà almeno soddisfare a questi due requisiti: di essere paragonabile con sè medesimo, cioè di segnare lo stesso grado in eguali condizioni; e di esser paragonabile colle indicazioni di altri strumenti costruibili analogamente ad esso.

Ora il termometro a mercurio, se soddisfa sensibilmente al primo di questi requisiti, non soddisfa però abbastanza al secondo, benchè costruito colle norme indicate al § 138, attesa la ineguale dilatabilità dei vetri di diversa natura o diversamente preparati, ed atteso il debole eccesso della dilatabilità del mercurio su quella del vetro: poichè fra 0° e 100°, il mercurio è appena 7,33 volte più dilatabile del vetro.

Quando ammettevasi la uniforme dilatabilità e comprimibilità dei gas, credettero i fisici che la dilatazione dei gas fosse proporzionale alle quantità di calore da questi ricevute, e che perciò un termometro ad aria fosse un termometro normale. Ma, dopo le riferite sperienze di Regnault, che provano essere la comprimibilità e la dilatabilità dei gas variabili colla pressione e colla temperatura, le indicazioni dei termometri a gas, al pari di quelle del termometro a mercurio, ponno soltanto considerarsi quali funzioni più o meno complicate delle quantità di calore acquistate o perdute.

Nondimeno i termometri a gas hanno su gli altri i vantaggi d'una maggiore dilatabilità. Per esempio l'aria essendo circa 148 volte più dilatabile del vetro, le variazioni nella legge di dilatazione delle diverse specie di vetro non influiranno sensibilmente sulle indicazioni dell'apparecchio, e quindi i diversi strumenti saranno abbastanza tra loro paragonabili.

Volendo adunque approfittare di sì importante proprietà, ed adottare il termometro a gas, se non come uno strumento perfetto, almeno come il migliore de' termometri, Regnault lo sottopose ad un accurato esame.

§ 178. In due modi si può adoperare un gas come corpo termometrico. O si mantiene in esso costante la pressione, e si notano le variazioni nel suo volume, prodotte da date variazioni nella temperatura. Oppure lo si sforza a serbare un volume costante, e si no-

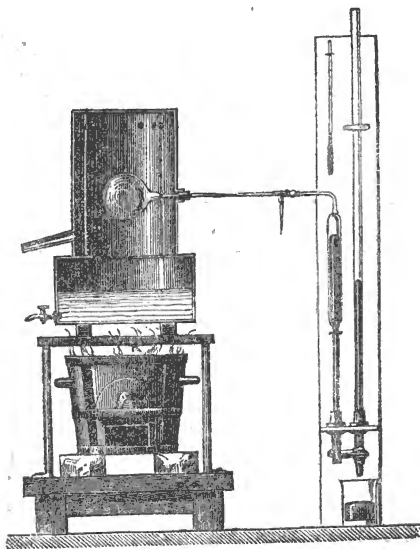


Fig. 141.

tano le variazioni occorse nella sua forza elastica. Ma in pratica, il primo metodo presenta difficoltà che ne rendono complicato l'uso, e che tendono a diminuire la sensibilità (p. 288) dello strumento coll'elevarsi della temperatura (a).

Invece, di più agevole uso è il secondo metodo, nel quale la sensi-

(a) Posti pure eguali i volumi di gas che escono successivamente dal palloncino termometrico per successivi eguali incrementi di temperatura, essendo le densità di essi gradatamente deescenti, assumeranno volumi man mano minori nel tubo di misura, ove si raccolgono e son ridotti a quella bassa temperatura cui mantiensì, con acqua ognor rimutantesi, l'involuppo del tubo istesso-

bilità dell'apparecchio non varia sensibilmente colle temperature: e però a questo metodo diede Regnault la preferenza nelle sue indagini.

Se non che, a temperature molto elevate essendo possibile una deformazione nel recipiente di vetro, in virtù della valida forza elastica del gas rinchiuso e del rammollimento del vetro, volle vedere in prima, se termometri preparati con aria avente forze elastiche molto differenti, sotto la stessa temperatura 0° , riuscissero poi tra loro paragonabili. A tal uopo istituì diverse serie di esperimenti dalle quali si deduce che i termometri ad aria sono strumenti perfettamente tra loro paragonabili, benché preparati con aria a densità differenti, almeno nei limiti di 438 a 1486 mill. di pressione iniziale: ed entro questi limiti si può adottare senza notevole errore il coefficiente 0.003665.

In seguito Regnault si pose la seguente quistione: due termometri preparati con gas di differente natura, e regolati però dietro i medesimi punti fissi di 0° e 100° , procedono essi in accordo? E quid dalle sue esperienze dedusse che: 1.^o L'aria atmosferica da 0° a 350° conserva la stessa legge di dilatazione, benché la sua forza elastica iniziale a 0° varii da $0^{\text{m}},4$ a $1^{\text{m}},3$. Pertanto nella costruzione dei termometri ad aria, senza prendersi pensiero della densità dell'aria introdottavi, gli strumenti saranno tuttavia paragonabili tra loro. 2.^o L'aria atmosferica, l'idrogeno e l'acido carbonico, tra 0° e 350° mostrano sensibilmente una stessa legge di dilatazione, benché i loro, coefficienti di dilatazione siano notevolmente differenti. E però due, termometri costrutti con questi diversi gas procederanno in accordo, purché si calcolino le temperature col coefficiente proprio a ciascun d'essi. Convien dunque dire che i coefficienti di dilatazione di questi gas presentino sensibilmente lo stesso rapporto a tutte le temperature. 3.^o Il gas acido solforoso si scosta in modo distinto dalla legge di dilatazione offerta dai precedenti gas: e forse accadrà lo stesso cogli altri gas di più facile liquefazione, e quindi anche coi vapori.

§ 179. Ma l'uso del termometro ad aria essendo in generale malagevole, e richiedendo minute e delicate operazioni, ed in alcune circostanze non essendo nemmeno possibile di porlo in opera, conviene indagare se vari termometri a mercurio, preparati con diverse qualità di vetro, oppure con uno stesso vetro foggilandone diversamente il recipiente, camminino in bastevole accordo tra loro, da potersi tenere paragonabili. Per questa indagine è preferibile il termometro a versamento su quelli a cannello.

Sia P il peso del mercurio che riempie un termometro a versamento alla temperatura 0° ; sia p' il peso del mercurio uscito da esso, scaldandolo da 0° alla temperatura t' d'ebollizione dell'acqua pura

(temperatura che si desume dall'altezza barometrica osservata in tal atto, secondo una tabella che si darà più innanzi); e sia p il peso del mercurio uscito dal medesimo, elevandolo da 0^0 ad una ignota temperatura t : sarà questa determinabile colla formola:

$$(131) \quad t = \frac{p}{p'} \cdot \frac{P - p'}{P - p} t'$$

E questa temperatura sarà eguale a quella che segnerebbe, nelle stesse circostanze, un termometro a cannello graduato, il cui recipiente fosse formato colla stessa qualità di vetro che costituisce il recipiente del detto termometro a versamento.

I termometri a recipiente di cristallo differiscono notevolmente nel loro andamento da quelli a recipiente di vetro, sicchè queste due qualità di termometri, ad alte temperature, non sono tra loro direttamente paragonabili. È quindi necessario tradurre le indicazioni dei termometri a mercurio in quelle date da un termometro ad aria, giovandosi della tavola che qui innanzi si produce. I termometri a vetro verde diedero differenze sensibili tra loro, e più con quelli a vetro bianco comune od a cristallo. Invece i termometri formati con diverse qualità di vetro ordinario procedono in bastevole accordo tra loro anche oltre i punti fissi di graduazione.

Costrutte poi graficamente le curve rappresentatrici dei dati sperimentali, Regnault dedusse la seguente tavola, che serve a tradurre le une nelle altre le indicazioni de' diversi termometri da lui sperimentati per le temperature superiori a 100^0 .

Termometro ad aria	Termometri a mercurio		
	Con cristallo	Con vetro	
		ordinario	verde
100°	100°00	100°00	100°00
150	150,40	149,80	150,30
200	201,25	199,70	200,80
250	253,00	250,05	251,85
300	305,72	301,08	
350	360,50	354,00	

Pertanto il termometro ad aria è il solo strumento cui può prestarsi piena fede, ove trattisi di temperature superiori ai 100^0 ; ed il più acconcio modo di usarne sta nel misurare le variazioni nella forza espansiva subite da un dato volume d'aria col mutarne la temperatura. Finchè non si oltrepassi la temperatura di 350^0 , potrà l'aria secca rinchiusa nello strumento avere a 0^0 una forza elastica pros-

sima a mill. 760. Ma per temperature maggiori, onde evitare una mutazione permanente nella capacità del recipiente, si pel rammollimento del vetro, si per la valida pressione interna, conviene introdurre nel termometro aria avente una più debole forza elastica. Così, se l'aria a 0° avrà una forza espansiva di soli mill. 300, a 500° acquisterà una forza elastica di mill. 850, di poco eccedente l'esteriore pressione.

Qualora però le temperature siano molto elevate, il recipiente potrà essere in porcellana, od anco in ferro; nel qual ultimo caso converrà riempirlo d'azoto, in luogo dell'aria. Il pirometro a recipiente di platino, usato da Pouillet, è strumento troppo costoso, perchè si abbia ad impiegarlo nelle arti; d'altronde avvi a temere una condensazione parziale del gas rinchiuso su le pareti del recipiente.

§ 180. Per alcuni usi più comuni si costruiscono anche termometri ad alcole. Presentano questi il vantaggio di una maggior sensibilità in confronto di quelli a mercurio, essendo l'alcole puro circa 6 volte più dilatabile del mercurio. Talchè, a pari rapporto fra il diametro interno della bolla e quello del cannello, un termometro ad alcole avrà i gradi di circa 6 volte più estesi di quelli d'un termometro a mercurio. Perciò anche lo spostamento dello zero avrà nel primo un valore sei volte minore che nel secondo. Inoltre l'alcole potrà servire anco per temperature inferiori a quella per cui il mercurio si agghiaccia (a circa — 40°).

Ma d'altra parte, l'alcole presentando una dilatazione che troppo si scosta dall'esser proporzionale all'incremento di temperatura, non si potrà graduare un termometro ad alcole allo stesso modo di uno a mercurio, in cui si suppone uniforme la dilatabilità, ma bisognerà segnare sul primo un gran numero di punti di corrispondenza fra i due termometri, ad intervalli non maggiori di 5°; e nondimeno s'avranno differenze di circa 0°,08 pei punti di mezzo di ciascuno dei detti intervalli. E maggiori diverranno queste divergenze qualora l'alcole, come d'ordinario accade, non sia perfettamente rettificato. Inoltre, a pari massa, il mercurio è assai più pronto a risentire le temperature de' corpi che non l'alcole, attesa la minore caloricità relativa del primo e la maggiore sua conduttività termica.

Per le temperature elevate potrebbero, secondo i dati di Deluc e di Muncke, adoperarsi come liquidi termometrici gli olii di ulive e di mandorle, i quali non bollono che ad alte temperature, sono più dilatabili del mercurio, e seguono una legge di dilatazione più regolare di quella dell'alcole. Però ancora questi termometri dovrebbero graduare, ad intervalli non maggiori di 10°, col mezzo di un termometro campione a mercurio.

§ 181. Per parecchie indagini fisiche riescono opportuni, quanto a

sensibilità i *termoscopi differenziali ad aria*, costituiti da due bolle di vetro, d'egual capacità, collegate da un cannello calibro, ripiegato ad U: le due bolle e parte del cannello contengono aria, il resto del cannello contiene alcole colorato, che fa da indice. Quando le due masse d'aria siano eguali ed abbiano un' egual temperatura, essendo eguale la loro tensione, l'indice sarà da esse egualmente premuto e starà col punto di mezzo della sua lunghezza nel mezzo del cannello. Qualora invece l'una bolla sia più calda dell'altra, l'indice, per la prevalente tensione dell'aria in essa contenuta, sarà spinto

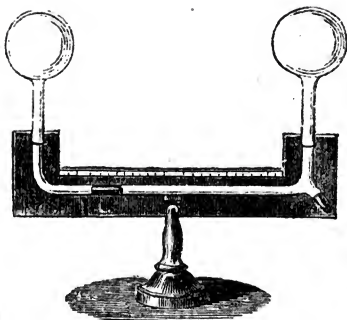


Fig. 142.

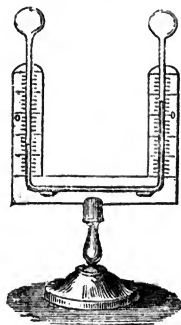


Fig. 143.

verso l'altra bolla, in proporzione della differenza delle due temperature.

Si chiamano poi *termografi* que' termometri che, per qualche artificio, lasciano indicata sia la massima sia la minima temperatura da essi subita in un dato intervallo di tempo. Sono usati specialmente in meteorologia.

Tra i vari termografi a massima e minima proposti per le osservazioni meteoriche torna opportuno, per regolarità d'indicazioni e facilità d'uso, quello di Ulisse Marchi di Firenze. Il liquido termometrico è mercurio: però nel cannello (che deve stare orizzontale) v'è una colonnetta d'altro liquido (diafano, non viscoso e poco vaporabile), entro il quale nuotano due piccoli indici di ferro rivestito di vetro. Uno di questi vien situato davanti al limite della colonnetta di mercurio, ed essendo sospinto innanzi col dilatarsi di questo serve ad indicare la massima, restando in posto quando il mercurio si contrae per raffreddamento. L'altro indice viene situato al limite dell'altro liquido, ed è sospinto in addietro dall'azione contrattile del

menisco, mano mano che la temperatura scema, e rimanendo poi a segno col ricrescer del calore, indica la minima temperatura. Ogni

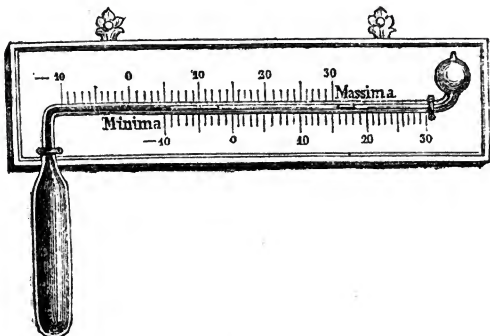


Fig. 144.

giorno poi i due indici, con una piccola calamita, sono ricondotti ai rispettivi limiti. Il serbatoio termometrico giova che abbia la figura cilindrica coll'asse verticale, onde sia favorito il moto verticale dell'aria che, lambendone la superficie, cresce o scema la densità, secondo che riceve o dà ad esso calore.

Meno proprio di questo per vari riguardi è il termografo di Rutherford, nel quale i due stromenti per la massima e per la minima

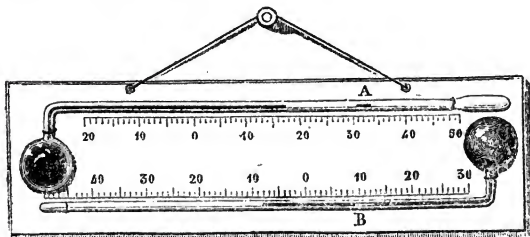


Fig. 145.

sono separati. Il primo è a mercurio e porta un indice in ferro, che è lasciato in posto col diminuire dellà temperatura; l'altro è ad al-

cole, coll' indice in vetro, che rimane in posto nell' interno della colonnetta liquida quando la temperatura è in aumento.

Conduttività termica interna.

§ 182. Nell'interno d'un corpo solido il calore si propaga da molecola a molecola, tendendo a ridurle tutte ad un' egual temperatura. Similmente il calore si propaga per *comunicazione* tra i corpi solidi posti a mutuo contatto. Però codesto equilibrio di temperatura tra le varie parti si stabilisce con diversa prontezza nei corpi di differente natura; onde si dice esser diversa la loro *conduttività termica interna*, ossia la loro attitudine a diffondere entro di essi il calore per comunicazione molecolare.

Abbiasi un solido omogeneo, terminato, a guisa d'un muro, da due piani paralleli, indefiniti, e mantenuti l'uno alla temperatura costante t e l'altro alla temperatura pur costante $t' < t$. Quando i punti di una sezione qualunque di esso parallela alle dette pareti abbiano una temperatura eguale e costante, cioè quando tutte le sezioni saranno attraversate da un' egual quantità di calore Q in ogni unità di tempo, si avrà:

$$(132) \quad Q = \frac{c}{s} (t - t'),$$

dove s indica la grossezza del solido, e c il *coefficiente della conduttività interna* del corpo pel calore, ossia la quantità di calore che nell'unità di tempo attraversa l'unità di superficie di un muro della stessa natura del precedente, avente la grossezza corrispondente all'unità lineare, e pel quale la differenza $t - t'$ sia eguale ad 1°.

Se la faccia del solido sopra considerato contigua al mezzo assorbente o meno caldo, invece d'esser mantenuta ad una temperatura costante, dal mezzo stesso, riguardato come una costante sorgente calorifica, irradiasse calore verso la parete d'un recinto la cui temperatura fosse $t'' < t'$, s'avrebbe per l'equilibrio:

$$c (t' - t'') = \frac{c}{s} (t - t'),$$

ove c indica il *coefficiente della conduttività esterna* del solido, ossia la quantità di calore perduta nell'unità di tempo da ogni unità di superficie di detta faccia, qualora la differenza $t' - t''$ corrispondesse ad 1°. Notisi però che questo coefficiente della conduttività esterna, il quale dipende insieme e dalla natura della superficie del corpo irradiante e dalla natura del mezzo assorbente, non va con-

fuso colla facoltà emittente, della quale si dirà innanzi, e che dipende unicamente dalla natura di detta superficie.

Ma comunemente la conduttività calorifica relativa dei solidi vien desunta da altre più semplici considerazioni. In una verga parallelepipedica omogenea, un cui estremo sia esposto ad una sorgente costante di calore, mentre il restante di essa sta in un ambiente a temperatura costante, e la cui grossezza sia abbastanza piccola da potersi ritenere ad egual temperatura tutti i punti interni di una medesima sezione perpendicolare alla lunghezza della verga; quando per ciascuna sezione la temperatura si fa stazionaria, essendo eguali tra loro le quantità di calore da essa acquistate e perdute in un dato tempo, s'avrà:

$$\frac{t_1 + t_3}{t_2} = \frac{t_2 + t_4}{t_3} = \frac{t_3 + t_5}{t_4} = 2q,$$

ovvero:

$$\frac{t_1}{t_2} = \frac{t_2}{t_3} = \frac{t_3}{t_4} = q,$$

essendo t_1, t_2, t_3, t_4, t_5 ecc., gli eccessi su la temperatura dell'ambiente delle temperature stazionarie di una serie di sezioni della verga, situati a tali distanze dalla sorgente calorifica, che formino tra loro una progressione aritmetica. Che se la verga avesse una tal lunghezza per cui la temperatura dell'ultima sua sezione fosse eguale a quella dell'ambiente, gli anzidetti eccessi costituirebbero una progressione geometrica decrescente.

Questa legge venne proposta da Lambert.

Determinando poi sperimentalmente, in eguali condizioni, i valori di t_1, t_2, t_3, t_4 , ecc., per due diverse verghe solide, si desumono i loro coefficienti c e c' della conduttività interna relativa, dietro la proporzione:

$$c : c' = \left[\log(q' + \sqrt{(q'^2 - 1)}) \right]^2 : \left[\log(q + \sqrt{(q^2 - 1)}) \right]^2,$$

ovvero dietro quest'altra meno esatta, ma più semplice ed approssimata:

$$c : c' = (\log q')^2 : (\log q)^2.$$

Quest'ultimo processo venne usato da Despretz, adoperando grosse verghe prismatiche, nelle quali erano scolpiti i buchi pei bulbi dei termometri a mercurio, e scaldandole ad un estremo con una lampada. Ma i risultati avutine non sembrano molto attendibili, avendo

egli ottenuto per i metalli la seguente serie di decrescente conduttività: platino, argento, rame, ferro, zinco, stagno e piombo.

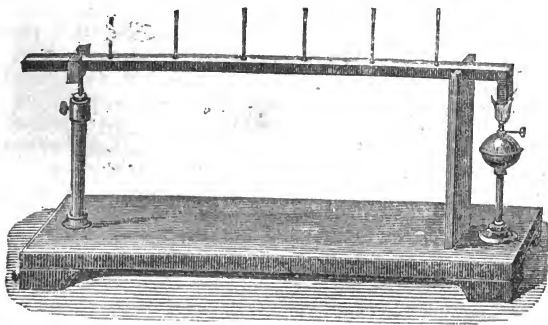


Fig. 146.

Per i corpi, ne' quali è molto debole la facoltà conlutttrice, o che non ponno aversi se non in lamine sottili, può adoperarsi il *termometro di contatto*, proposto da Fourier. È un tronco di cono in lamina di ferro, col fondo chiuso da una sottile pelle ben serrata, pieno di mercurio e munito d'un termometro, la cui bolla risponde al centro del vaso. I corpi da sottoporre a prova, in forma di lamine di date dimensioni, si dispongono fra un largo piano di marmo e la base maggiore dello stromento, stato scaldato dapprima al di là della temperatura dell'ambiente, e si determina il tempo che trascorre per ottenere un dato raffreddamento, secondo che questa o quella lamina serve a trasmettere il calore della base dello strumento al piano di marmo.

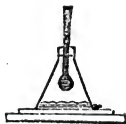


Fig. 147.

Forbes, usando quest'apparecchio, per rispetto ai metalli, ottenne risultati conformi a quelli di Despretz, se non che il platino si comportò come i metalli meno conduttori, tra lo zinco e lo stagno; l'antimonio ed il bismuto dovrebbero collocarsi ancor dopo il piombo. Il che concorda coll'ordine già assegnato da Ingenhous (1780) a diversi metalli per riguardo alla loro conduttività termica, usando di un metodo non molto rigoroso: argento, oro, rame, stagno, platino, ferro, acciaio, piombo.

Meglio attendibili sono i seguenti dati, avuti da Wiedemann e Franz (1853) con metodo analogo a quello di Despretz, ma suscettibile di maggior approssimazione.

In luogo di grosse verghe, usarono verghe sottili, facilmente abbracciate da morsetti termo-elettrici: un estremo di queste verghe penetrava in una cassa, nella quale circolava una corrente di vapor acqueo, dato da acqua bollente, e il resto della lunghezza loro era involto da una doppia tubulatura avente nell'interno uno spazio vuotato d'aria, e frammezzo alle due pareti una corrente d'acqua fredda; la superficie delle verghe era però coperta da un egual strato di vernice, sì da eguagliarne la conduttività superficiale.

Argento	1,000	Ferro	0,119
Rame	0,736	Acciaio	0,116
Oro	0,532	Piombo	0,085
Ottone	0,231	Platino	0,084
Zinco	0,190	Argentone	0,063
Stagno	0,145	Bismuto	0,018

Col termometro di contatto si rilevò che una pila formata con un certo numero di lamine di due differenti sostanze, presenta miglior conduttività quando stanno tra loro adunate le lamine omogenee, di quando siano altercate le une colle altre. Però Wiedemann (1825), sperimentando con molta diligenza, non incontrò differenza sensibile nel passaggio del calore da uno ad'altro metallo di diversa natura, cioè trovò essere eguali le temperature nelle due basi affacciate di due verghe, ma sol quando sia perfetto il contatto delle basi stesse. Quando invece queste non sian ben levigate l'una su l'altra, o se sian separate da un sottilissimo strato d'un corpo imperfetto conduttore, qual sarebbe un sottil foglio di carta, le differenze tra le temperature delle due basi riescono sentite.

Forbes verificò che la conduttività termica dei corpi diminuisce col crescere in essi la temperatura.

I minerali petrosi, le terre e le rocce offrono in generale poca conduttività, e questa è notevolmente modificata in essi dal vario loro stato di divisione e di secchezza. In istato di terra o di polvere sono molto meno conduttivi che in istato compatto, e la umidità accresce di molto la loro conduttività termica. Eccone alcuni valori relativi, secondo le sperienze di Hopkins:

<i>Minerali in polvere.</i>		<i>Minerali compatti.</i>	
		Secchi	Saturi d'umido.
Creta	0,06	0,17	0,30
Argilla	0,07	0,23	0,37
Sabbia silicea.	0,15	—	—
Calcare oolitico	—	0,30	0,40
Arenaria rossa	—	0,25	0,60
Diverse arenarie dure e compatte		0,51 a 0,76	—
Rocce acquee di diversa natura		0,53 a 1,0	—

Nei corpi cristallizzati, le cui figure non appartengono al primo sistema regolare, come pure ne' corpi compressi o stirati da azioni meccaniche in modo non uniforme nelle varie lor parti, si rileva una diversa conduttività nelle differenti direzioni della loro massa. Sono interessanti su tal proposito le osservazioni di Senarmont.

Delarive e De Candolle osservarono l'ordine della conduttività nei legni ben secchi essere: loto, quercia, abete, pioppo, sughero: però in ogni qualità di legno è maggiore la facoltà conduttrice nel senso longitudinale delle fibre che nel senso trasversale.

La conduttività termica dei carboni riesce tanto maggiore quanto più alta è la temperatura della loro carbonizzazione. Prendendo per unità la conduttività del ferro, Violette trovò 0,60 pel legno ben secco a 200°; 0,62 pel carbone preparato a temperature superiori a 400°, 0,64 per quello preparato a 1000°, e 0,85 pel carbone delle ritorte a gas.

Tyndall (1853) confermò la succennata osservazione di Delarive e De Candolle, che nei cubi di legno l'asse della maggiore conduttività è parallelo alle fibre, l'asse della minima è perpendicolare alle fibre e parallelo agli strati annuali, mentre l'asse della media conduttività è perpendicolare e alle fibre ed agli strati annuali; quindi gli assi della massima e minima conduttività nei legni coincidono cogli assi della massima e minima loro coesione, e colle direzioni della loro massima e minima permeabilità dai liquidi.

In generale *la conduttività termica interna è maggiore dov'è maggiore la durezza ed insieme la tenacità e la densità. Nei metalli essa risulta proporzionale alla loro conduttività elettrica*, come si vedrà avanti.

§ 183. Nei liquidi assai debole è la facoltà conduttrice pel calore, ove questo abbia a diffondersi in essi dall'alto al basso.

Laddove, quando il calore viene in essi a diffondersi dal basso all'insù, facilmente si riscaldano, perchè intervengono i moti delle loro molecole correlativi al variare della loro densità per variata temperatura, moti che opportunamente dagli Inglesi son detti *moti convettivi* o di *convezione* (da *cum vehere*) pel calore. Ma più ancora si favorisce il loro riscaldamento col rimescolarli.

Le stufe a corrente d'acqua, sì a bassa che ad alta pressione, dette anco termosifoni, le quali sono molto economiche, si fondano sul predetto principio dei moti convettivi. Ed in questo principio si trova una delle

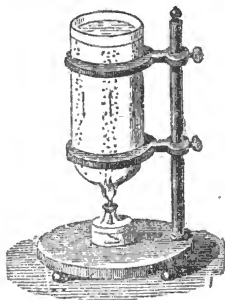


Fig. 148.

ragioni del clima mite di che godono i paesi limitrofi ai grandi bacini d'acqua.

Si hanno poche sperienze precise su la conduttività relativa dei liquidi. Il mercurio siccome corpo metallico e molto denso è anche molto più conduttivo di qualsiasi altro liquido. Secondo Calvert e Johnson la sua conduttività relativa differisce pochissimo da quella dell'alluminio o dello zinco. All'incontro quasi tutti i liquidi organici (gli alcoli, gli eteri, gli olj, le essenze, le benzine, ecc.) sono sì poco conduttivi da potersi dire *coibenti* pel calore. L'acqua tiene un posto intermedio fra questi ed il mercurio. Secondo Guthrie (1868), ecco i valori della resistenza relativa alla propagazione del calore in alcuni liquidi, preso per unità quello dell'acqua:

Acqua . . .	1,0.	Alcole amilico . . .	10,2
Glicerina . . .	3,8.	Terebenteno . . .	11,8
Alcole etilico . . .	9,1.	Cloroformio . . .	12,1

D'altra parte la facoltà raffreddatrice dei diversi liquidi, rispetto ad un solido caldo, da essi involto, ha relazione non solo colla loro conduttività, ma ancora colla varia scorrevolezza e mobilità delle loro molecole e colla diversa loro caloricità specifica. Così, secondo il Belli, l'ordine del valore decrescente di tal facoltà sarebbe: mercurio, acqua, olio, alcole: laddove questi medesimi liquidi, chiusi in bulbi termometrici ed in eguali circostanze, devono altrimenti ordinare rispetto alla prontezza del loro riscaldamento o raffreddamento, cioè: mercurio, alcole, acqua, olio d'ulive.

§ 184. Anche i fluidi aeriformi mostrano una ben debole conduttività pel calore: e pur in essi le variazioni di temperatura sono favorite anzitutto dai moti prodotti nelle loro molecole dalle variazioni nella loro densità, correlative alle stesse variazioni di temperatura, cioè ancora dai moti convettivi. Epperò l'aria, specialmente ove siano in essa contrariati codesti moti, serve utilmente a rallentare la diffusione del calore tra due corpi, ossia funziona come corpo *coibente* pel calore. E da questi principj si cavano utili applicazioni per la miglior costruzione dei camini e delle stufe ad aria calda, e per ispiegare diversi fenomeni naturali.

L'ordine della conduttività termica ne' diversi gas, secondo Favre e Silbermann (1853), sarebbe: idrogeno, aria, ossigeno, ossido di carbonio, protossido d'azoto ed acido carbonico: però nell'idrogeno la facoltà conduttrice è molto maggiore che nei susseguenti gas, prossimamente come la conduttività termica del mercurio eccede quella dei sovradetti liquidi organici.

Il che venne poi confermato da Magnus (1861), il quale trovò che

la temperatura finale d'un termometro entro uno spazio scaldato dall'alto varia secondo che questo è vuoto oppur contiene diversi gas. Nell'idrogeno questa temperatura riesce più alta che nel vuoto: invece in ogni altro gas essa risulta più bassa che nel vuoto, e tanto più quanto son più densi. Pertanto questi manifestano una vera resistenza alla trasformazione del calore anche rispetto al vuoto.

Da questi dati appare altresì che nei fluidi aeriformi la conduttività termica abbia rapporto colla rispettiva differente velocità molecolare (§ 122), la quale s'è visto essere inversamente proporzionale alla radice quadrata della rispettiva loro densità.

Varia caloricità dei corpi.

§ 185. Non essendo possibile misurare le quantità assolute di calore (considerate in astratto come le quantità di moto) necessarie a produrre dati effetti calorifici, si determinano le quantità relative di calore volute a mutare nei corpi la temperatura oppure lo stato fisico, prendendo per unità di misura la così detta *caloria*, cioè la quantità di calore (per sé incognita) necessaria ad elevare di 1° C un chilogrammo d'acqua distillata, presa a temperatura prossima al massimo di densità.

Ora le più semplici supposizioni che possan farsi a questo proposito sembrano queste: che a scaldare d'un egual numero di gradi diverse masse d'una data sostanza si richiedano quantità relative di calore proporzionali alle singole masse; e che per aumentare d'un diverso numero di gradi la temperatura in eguali masse d'una medesima sostanza si richiedano quantità di calore proporzionali ai singoli aumenti nella temperatura. Epperò *le quantità relative di calore, guadagnate o cedute da diverse masse omogenee, prese a differenti temperature, e mescolate perfettamente tra loro, onde ridursi tutte all'equilibrio di temperatura, saranno per ciascheduna proporzionali al prodotto della massa per il rispettivo aumento o decremento nella temperatura.*

Secondo questo principio, chiamato anche legge di Richmann, se si mescoleranno tra loro diverse masse m' , m'' , m''' , ecc. di un dato fluido, prese rispettivamente alle temperature t' , t'' , t''' , ecc. si avrà la temperatura finale T della miscela dalla formola:

$$(133) \quad T = \frac{m' t' + m'' t'' + m''' t''' + \dots}{m' + m'' + m''' + \dots}$$

Ora codesto principio risulta abbastanza confermato dall'esperienza, ove si operi con due o più masse d'acqua, a temperature poco diffe-

renti, e si tenga conto delle varie perdite di calore inerenti al modo di sperimentare.

Le quali prove si possono facilmente ripetere anche ne' corsi, adoperando un *vaso calorimetrico*. Consiste questo in un vasetto d'argento, munito di coperchio simile, collocato entro altro vaso più capace, di rame splendente, sicchè siavi fra le loro pareti e fra i loro foudi uno strato d'aria con soffice ovatta. Anzi giova che il vaso esterno sia a doppia parete, sì da contenere nell'intercapedine uno strato d'acqua; la cui temperatura può rendersi ancor meno variabile.

Operando nel verno, onde sia debole la vaporabilità dell'acqua; predisponendo nel vasetto acqua a temperatura di appena qualche grado superiore a quella dell'ambiente; versandovi poi altr'acqua a temperatura poco inferiore a quest'ultima; sommovendo il liquido con sottile agitatore ad anello, e rilevandone la temperatura con termometro a recipiente cilindrico lungo e sottile, e così sensibile che sian valutabili i ventesimi di grado, si possono ottenere risultati assai concordi con quelli dati dalla formola.

§ 186. Ma ove si mescolino tra loro corpi di natura differente, più non si verifica il precedente principio: il che significa *richiedersi quantità diverse di calore per elevare d'un equal numero di gradi la temperatura in masse eguali di differenti corpi*. Si dice perciò avere i corpi una diversa *caloricità*; e si denomina *caloricità specifica* di una sostanza il rapporto fra la quantità di calore voluta per aumentare di 1^o la temperatura dell'unità di massa di tal sostanza e la corrispondente quantità necessaria a produrre lo stesso effetto nell'acqua pura; ovvero il numero di calorie richiesto a scaldare di 1^o l'unità di peso della ridetta sostanza. Forse più direttamente queste calorie ponno denominarsi le *calorie di scaldamento* del corpo stesso.

Sembra essere stato Black (1760) il primo a chiamare l'attenzione dei fisici e dei chimici su questo importante fatto. Ma le più attendibili determinazioni di codeste quantità relative di calore volute a scaldare egualmente pesi eguali dei vari corpi son quelle di Dulong e Petit, di Neumann, di Avogadro, di Delarive e Marcet, di Regnault, di Kopp e di Thomsen.

Tre sono i metodi in uso per determinare la caloricità relativa nei solidi e nei liquidi: il metodo delle mescolanze, o me-

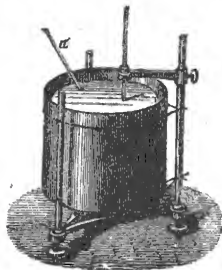


Fig. 149.

glio del calorimetro ad acqua, quello del calorimetro a ghiaccio, e quello del raffreddamento. Per diversi riguardi si dà preferenza al primo.

Siano m, t , la massa (o peso relativo) e la temperatura dell'acqua pura contenuta in un vaso, ed m', t' , le corrispondenti quantità per quel corpo, di cui vogliansi conoscere le calorie di scaldamento c per ogni sua unità di massa: posto $t' > t$, e t'' la temperatura finale della miscela, si avrebbe:

$$c = \frac{m}{m'} \cdot \frac{t'' - t}{t' - t''}$$

qualora tutte le calorie perdute dal corpo fosser guadagnate dall'acqua.

Ma in fatto si dovrà tenere esatto conto delle calorie comunicate al vaso in cui si fa la miscela, al termometro che dà la tem-

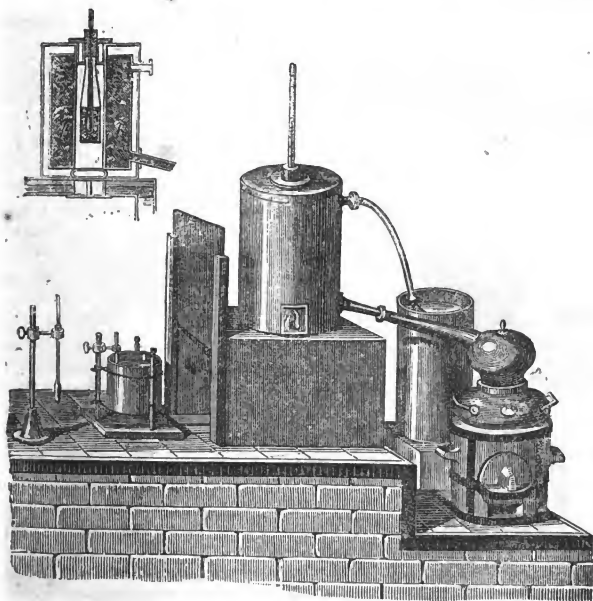


Fig. 150.

peratura finale, all'agitatore con cui si affretta la miscela, non che delle calorie perdute per irradiazione dalla superficie dell'acqua:

e se trattasi d'un liquido che spieghi un' azione chimica sull'acqua o d'un solido ridotto in polvere, bisogna valutare anco le calorie comunicate all'acqua dal vasetto che li racchiude. Regnault seppe ridurre questo metodo a molta perfezione con uno speciale suo apparato. Tuttavia il suo apparecchio della stufa a vapore, oltre che complicato (v. p. 325), dà luogo a parecchie difficoltà sperimentali abbastanza gravi.

Per determinare la caloricità relativa de' corpi alle temperature ordinarie, val meglio usare il *calorimetro ad acqua* a triplice parete, descritto poc' anzi (§ 185), tenendoli dapprima ed a lungo in un ambiente a temperatura poco variabile, entro apposito recipiente, protetto dalle correnti d'aria e dal raggimento calorifico, ed introducendoli poi rapidamente nel vaso calorimetrico, dove siasi predisposta acqua di pochi gradi più calda dell'ambiente. Importa poi anzitutto usare termometri a serbatoio cilindrico e lungo, e suscettivo di dare i centesimi di grado.

È pur utile per molti casi il *calorimetro a mercurio* di Favre e Silbermann. È una grossa palla cava di ghisa, piena di mercurio, il quale, mercè la varia immersione d'un cilindro d'acciaio, può esser ridotto ad un dato segno entro un lungo cannello che comunica col cavo di essa e diretto tangenzialmente. Una tubulatura metallica s'addentra nel cavo in direzione radiale, sì da formarvi una camera interna, nella quale ponendo un corpo più caldo della palla, il calore co-



Fig. 151.

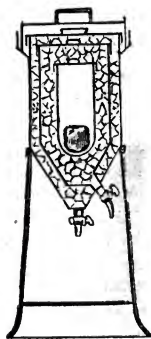


Fig. 152.

municato al mercurio involgente si manifesterà nel cannello con un aumento di volume del liquido. E quest'aumento potrà valutarsi in calorie, qualora siasi prima graduato lo strumento, co l'introdurre

nella detta camera un dato peso d'acqua, che raffreddandovisi d'un determinato numero di gradi, vi cederà un noto numero di calorie, e col rilevare insieme la corrispondente dilatazione del mercurio passato nel cannello. A diminuire le perdite di calore all'esterno, il calorimetro è involto da un grosso strato di soffice ovatta ed è contenuto in una custodia di legno.

Usando il *calorimetro a ghiaccio*, proposto da Black e Wilke, e perfezionato da Lavoisier e Laplace, si determina il peso p del ghiaccio liquefatto dal corpo che vi si pone entro, conoscendosi la sua massa m e la preventiva sua temperatura t . Si desumono le calorie c di riscaldamento di tal corpo, sul dato che ogni chilogrammo di ghiaccio a 0° esige 80 calorie; epperò s'avrà:

$$(134) \quad c = \frac{80 p}{mt};$$

purché l'involuppo di ghiaccio sminuzzato, disposto intorno a tal corpo, venga protetto da un secondo involuppo di ghiaccio dal risentire l'azione riscaldante dell'ambiente.

Questo metodo però presenta tali difficoltà pratiche che lo si applica con vantaggio solo in pochi casi:

Per i liquidi può adoperarsi anche il *metodo del raffreddamento*, proposto da Mayer, e perfezionato da Dulong e Petit. Siano t e t' i tempi in cui diminuisce d'un egual numero di gradi la temperatura di due corpi, situati in identiche condizioni, e le cui masse e caloricità siano rispettivamente m, c ed m', c' ; sarà:

$$(135) \quad \frac{t}{t'} = \frac{mc + n}{m'c' + n},$$

ove n esprime le calorie in ogni caso perdute dal vasetto entro cui stanno i liquidi e dal termometro in essi immerso. Questo vasetto in argento sta entro un altro vaso assai più capace, dal quale si estrae l'aria colla macchina di rarefazione, ed ha la interna sua superficie tinta in nero fumo.

Ma non si può usare questo metodo con pari confidenza per i solidi, benché ridotti in polvere, perchè hanno influenza sui detti tempi e la diversa facoltà conduttrice dei corpi, e la differente compressione che su di questi si esercita nel disporli entro il vasetto, siccome mostrò Regnault. Così, ad esempio, il rame, lo zinco, il bismuto e l'antimonio, i quali col calorimetro ad acqua gli diedero per calorie di riscaldamento rispettivamente 0,09515; 0,09555; 0,03084, e 0,05077, col metodo del raffreddamento gli diedero invece 0,08842; 0,09152; 0,03732, e 0,06305: e d'altra parte la polve d'argento pochis-

imo compressa gli diede con quest'ultimo metodo 0,08519, mentre fortemente compressa, tanto da contenersene nel medesimo vaso una quantità tripla, diede solamente 0,05650.

§ 187. Dall'insieme degli sperimenti eseguiti in proposito emergono i seguenti fatti:

1) *A parità di peso la caloricità nei metalli e nei composti metallici è in generale minore che negli altri corpi solidi e liquidi.*

2) L'acqua è il corpo che presenta la maggior caloricità, sia che questa la si riferisca all'unità di massa, od all'unità di volume nei varii corpi.

3) *Il diverso modo di aggruppamento delle molecole in un dato solido influisce tal poco nel mutarne la caloricità.* Valgano ad esempio: il selenio vetroso ed il selenio metallico, la cui caloricità è rispettivamente 0,1031 e 0,0762; ed il carbonio, il quale, benché un po' impuro, offre nel carbone di legno 0,242, nella grafite 0,202 e nel diamante 0,147, soltanto per caloricità a peso.

4) *Le sostanze metalliche e più le non metalliche offrono in istato liquido una caloricità sensibilmente maggiore che nello stato solido.* Eccone alcuni esempi:

	<i>solido</i>	<i>liquido</i>		<i>solido</i>	<i>liquido</i>
Solfo	0,2026	0,2340	Bismuto . . .	0,0308	0,0363
Fosforo	0,1887	0,2045	Acqua	0,5040	1,0000
Bromo	0,0843	0,1031	Fosfato sodico .	0,4077	0,7467
Cadmio	0,0567	0,0642	Cloruro calcico .	0,3450	0,5550
Stagno	0,0562	0,0637	Naftalina . . .	0,3249	0,4176
Jodio	0,0541	0,1082	Azotato sodico .	0,2782	0,4130
Mercurio . . .	0,0319	0,0333	id. potassico	0,2328	0,3319
Piombo	0,0314	0,0402			

5) In generale, *coll' aumentare le temperature, cresce la caloricità d'ogni corpo*: ma quest'incremento è molto meno sentito nei metalli che nei liquidi, in alcuni dei quali varia sensibilmente il calore specifico anche per un piccolo numero di gradi.

L'acqua invece presenta una caloricità sensibilmente costante da 0° a 100°, come i metalli. Regnault (1843), eseguendo molti sperimenti per determinare le calorie di riscaldamento dell'acqua, mantenuta liquida, fra 0° e 230°, le trovò abbastanza bene espresse dalla formola empirica:

$$C' = t + 0,00002 t^2 + 0,0000003 t^3$$

ove C' esprime le calorie cedute dall'unità di peso dell'acqua, raffreddandosi dalla temperatura t a 0°, data questa da un termometro ad aria. Perciò a riscaldare un chilogrammo d'acqua da 0° a 50°,

a 100° od a 200° si richiedono rispettivamente, calorie 50,09; 100,5 e 203,2.

Per altri liquidi lo stesso Regnault dà:

Alcole etilico	$C = 0,5476 + 0,002244 t + 0,00000675 t^2$
Terebenteno	$C = 0,4106 + 0,00124 t + 0,000004 t^2$
Etere acetico	$C = 0,5274 + 0,00105 t$
Petroleno	$C = 0,4172 + 0,000899 t$
Etere etilico	$C = 0,5290 + 0,000592 t$
Cloruro di carbonio	$C = 0,1980 + 0,000181 t$
Etere jodidrico	$C = 0,1616 + 0,000165 t$
Solfuro di carbonio	$C = 0,2352 + 0,000163 t$
Cloroformio	$C = 0,2323 + 0,000102 t$

6) Nei metalli il detto incremento nella caloricità, più che colla loro dilatabilità assoluta, ha relazione coll'incremento nella dilatabilità, che in ciascun d'essi si verifica coll'aumentare delle temperature, come si è veduto indietro. Ecco alcuni dati di Dulong e Petit:

	Caloricità media da		Rapporto delle 2 caloricità
	0° a 100°	0° a 300°	
Mercurio	0,0330	0,0350	1 : 1,051
Platino	0,0335	0,0355	1 : 1,059
Vetro	0,1770	0,1900	1 : 1,074
Rame	0,0940	0,1013	1 : 1,078
Antimonio	0,0507	0,0547	1 : 1,079
Zinco	0,0927	0,1015	1 : 1,094
Argento	0,0557	0,0611	1 : 1,097
Ferro	0,1098	0,1218	1 : 1,109

Nel ferro verificarono che la caloricità cresce con una ragione più rapida della temperatura.

Secondo molte esperienze di Pouillet, estese da 0° a 1000°, la caloricità media c del platino da 0° ad una temperatura t sarebbe data dalla:

$$c = 0,03308 + 0,0000042 t.$$

Sembra però probabile che codesti incrementi della caloricità col crescere della temperatura debbano raggiungere un limite, quando cioè la caloricità in ciascuna sostanza renderebbesi costante. Sono molto importanti a tal proposito le recenti indagini di Weber (1875). Ad esempio, Regnault, operando a temperature comprese fra 10° e 100°, aveva trovate notevoli differenze per la caloricità in varii stati, come s'è detto sopra al 3); ora il Weber trovò che, tanto il dia-

mante, quanto il carbone di legno e la grafite vanno rapidamente aumentando nella caloricità da -50° a 250° ; che questo aumento è però più rapido nel diamante; che da 250° a 600° questo aumento va diminuendo mano mano, e che da 600° a 1000° la caloricità si rende costante e quasi eguale in tutte queste sostanze, cioè 0,441 pel diamante, e 0,467 pel carbone e la grafite. Egli verificò fatti analoghi nel boro e nel silicio, i quali per temperature inferiori a 100° diedero a Regnault caloricità corrispondenti rispettivamente a 0,260 e 0,176, mentre Weber, a temperature superiori a 600° , ottenne per essi 0,50 e 0,206.

§ 188. *Nei corpi indecomposti, allo stato solido, le calor ie di riscaldamento sono inversamente proporzionali al loro peso molecolare*, cosicchè è sensibilmente costante il prodotto che si ha per ciascun corpo, moltiplicando la sua caloricità relativa per il rispettivo peso molecolare. Dulong e Petit (1819) furono i primi ad avvertire questa legge, che fu poi avvalorata dalle sperienze di Neumann, di Regnault, di Kopp, e di Weber: i loro risultati si raccolgono nel seguente prospetto, nel quale i pesi molecolari dei diversi corpi sono riferiti a quello dell'idrogeno, che è posto 1.0, ritenendo che a costituir l'acqua entrino: 2 molecole di idrogeno con una di ossigeno, cioè;

$$18 \text{ Aq} = 2 \times 1 \text{ H} + 16 \text{ O.}$$

	Calorie	Peso molec.	Prodotto
Litio	0,941	7,0	6,59
Boro (a)	0,500	11,0	*5,50
Carbonio (a)	0,467	12,0	*5,60
Sodio	0,296	23,0	*6,74
Magnesio	0,250	24,0	6,00
Alluminio	0,216	27,5	5,94
Silicio (a)	0,200	28,0	*5,75
Solfo	0,203	32,0	6,50
Fosforo (b)	0,196	31,0	6,08
Potassio	0,169	39,0	6,59
Manganese	0,115	55,0	6,32
Ferro	0,114	56,0	6,38
Niccolo	0,108	59,0	6,37

(a) I valori qui esposti per la caloricità del boro, del carbonio e del silicio sono tolti dalle predette sperienze di Weber, e corrispondono a temperature superiori a 600° .

(b) Per la caloricità del fosforo si espose il valore trovato da Regnault pel fosforo rosso, mentre col fosforo giallo la caloricità 0,180 dà un prodotto (5,92) troppo piccolo rispetto al medio valore.

	Calorie	Peso	Prodotto
Cobalto	0,107	59,0	6,31
Zinco	0,0956	65,2	6,23
Rame	0,0952	63,5	6,04
Bromo	0,0843	80,0	*6,75
Arsenico	0,0814	75,0	6,10
Selenio	0,0762	79,5	6,06
Molibdeno	0,0659	96,0	6,22
Palladio	0,0593	106,6	6,32
Rodio	0,0580	104,4	6,06
Argento	0,0570	108,0	6,16
Cadmio	0,0567	112,0	6,35
Stagno	0,0562	118,0	6,63
Jodio	0,0541	127,0	*6,87
Antimonio	0,0508	122,0	6,20
Tellurio	0,0474	129,0	6,11
Tungsteno	0,0334	184,0	6,15
Oro	0,0324	197,0	6,38
Platino	0,0324	197,4	6,39
Iridio	0,0320	198,0	6,34
Mercurio (a)	0,0319	200,0	6,38
Piombo	0,0314	207,0	6,50
Osmio	0,0310	199,2	6,20
Bismuto	0,0308	210,0	6,47

Valore medio, esclusi i prodotti segnati * . . . 6,28

I suesposti prodotti per le diverse sostanze risultano, in generale, poco differenti tra loro. Esclusi i segnati con *, gli altri più divergenti, quelli del litio e dell'alluminio, corrispondono al rapporto di 1,0 a 1,11. Anzi codeste differenze devono dire ben poco rilevanti, qualora si rifletta che le calorie di temperatura per le singole sostanze variano di molto tra loro (sino da 1,0 a 20,6 pel bismuto ed il litio), ed ove si pensi alle tante difficoltà che s'incontrano a raggiungere un'esatta valutazione di tali calorie, ed alle incertezze che tuttora sussistono sul giusto valore del peso molecolare di non poche sostanze.

È poi notevole che molti solidi (come il bromo, il potassio, il sodio, l'iodio, il solfo, il litio, lo stagno, il bismuto ed il piombo), la cui temperatura di fusione è meno elevata, offrono pel detto prodotto un valore sensibilmente maggiore del medio (6,28). D'altra parte i corpi

(a) Pel mercurio si espone la caloricità relativa allo stato solido.

infusibili, come il carbonio, il boro ed il silicio, danno pel prodotto medesimo valori assai minori del medio.

Ora siccome abbiain veduto poc' anzi, che la caloricità dei solidi a peso diminuisce col decrescere della temperatura, così si può credere che qualora i diversi corpi si prendessero a temperature equidistanti da quelle della rispettiva loro fusione, le suindicate differenze nel prodotto del peso molecolare per la caloricità specifica si ridurrebbero assai minori.

Pertanto anche codesta legge di Dulong e Petit sarebbe da annoverarsi tra quelle che diconsi *leggi a limiti*, poichè si verificano con sufficiente esattezza solo entro certi limiti di valori per le rispettive condizioni fisiche, e nel resto non sono che leggi d'approssimazione.

Ad ogni modo è degno di molta considerazione il fatto avvertito da Weber, che una data sostanza indecomposta, ancorchè sia capace di varia forma di struttura, come il carbonio, quando sia presa a temperatura convenientemente elevata, offre una stessa e costante caloricità.

Quando però i corpi indecomposti sono in istato liquido come vedemmo addietro 4), offrono valori così elevati e così variabili colla temperatura per la loro caloricità a peso, che la legge di Dulong e Petit più non la si può ammettere, nemmeno come legge d'approssimazione.

Diremo più avanti della caloricità dei fluidi aeriformi.

§ 189. Ora codesta relazione assume un aspetto più interessante per la scienza, formulandola in un modo indipendente dalla conoscenza dei pesi di combinazione delle varie sostanze indecomposte.

Pongasi cioè di voler determinare i rapporti tra i pesi delle diverse sostanze solide indecomposte, coi quali, subendo esse un' egual diminuzione nella temperatura, valgano a cedere al mezzo ambiente una eguale quantità di calore. Codesti pesi relativi, dovendo essere per le diverse sostanze inversamente proporzionali alla loro caloricità sotto pesi eguali, risulterebbero, attesa la suesposta legge empirica, direttamente proporzionali, prossimamente almeno, ai numeri che esprimono i pesi di combinazione delle sostanze istesse (a).

Così, ad esempio, grammi 32 di solfo, gr. 56 di ferro, gr. 116 di stagno, gr. 207 di piombo, ecc., sarebbero masse termicamente equivalenti: talchè, prese ad una stessa temperatura, e gittate separatamente in eguali masse d'acqua, tutte più fredde di esse d'uno stesso

(a) Siano infatti p e p' i ricercati pesi per due sostanze, le cui calorie di scaldamento dell'unità di peso sieno rispettivamente c e c' ; dovrà essere $pc = p'c'$, ossia $p : p' = c' : c$. Ma, per la legge di Dulong e Petit, $c : c' = m' : m$, posti m ed m' i pesi di combinazione di tali sostanze; quindi si avrà $p : p' = m : m'$.

numero di gradi, vi produrrebbero eguali aumenti di temperatura e quindi aumenti eguali di volume. Cosiffatti rapporti di peso tra le varie sostanze solide indecomposte costituiscono i loro *equivalenti termici*.

Ed ecco che, prendendo in esame un fenomeno puramente fisico, si sarebbero trovati per tali sostanze numeri proporzionali, quasi eguali a quelli trovati dal chimico e dal mineralogo, studiando le leggi delle combinazioni e delle cristallizzazioni. Sotto questo aspetto, la ripetuta legge di Dulong e Petit potrebbesi esprimere anche così: *i rapporti tra i pesi dei diversi solidi indecomposti che, per eguali variazioni di temperatura, danno o tolgono quantità eguali di calore ad altro di essi, sono corrispondenti ai pesi proporzionali secondo i quali si verificano le più semplici combinazioni chimiche tra i corpi stessi.*

Però questa correlazione tra i pesi di combinazione e gli equivalenti termici non deve restare infeconda per la scienza. Potrebbe supporre che l'affinità tra i corpi sia commisurata alla loro caloricità specifica: posto che essi si uniscano secondo tali quantità ponderali, per cui possano, ad ogni mutazione di temperatura, ricambiare tra loro eguali quantità di calore, o piuttosto eguali quantità di quel moto molecolare che modifica in essi il volume.

Così, per ritornare sull'esempio sovra citato, si può dire che tanto a soddisfare all'affinità di grammi 32 di solfo, quanto a produrre in questa massa eguali variazioni di volume per una stessa variazione di temperatura si richiedono pesi di ferro, o di stagno, o di piombo che stanno tra loro come 56 a 116, a 207. Per un tal verso ci sembra che la legge di Dulong e Petit si colleghi e colla teoria meccanica del calore e con quella della equivalenza delle forze fisico-chimiche.

Ove però i corpi indecomposti sono in istato liquido, offrono prodotti assai più disparati tra loro, ed, in generale, più rilevanti di quelli dati dai corpi in istato solido. Talchè per essi la legge di Dulong e Petit più non la si può ammettere, nemmeno come legge d'approssimazione.

§ 190. Neumann ed Avogadro, e più largamente Regnault, verificarono che nei solidi composti, aventi una formola simile di composizione, la caloricità è pure inversamente proporzionale al rispettivo peso molecolare; talchè il prodotto di questi due fattori risulta prossimamente costante per i vari composti d'uno stesso gruppo. Per i composti binari, e segnatamente per i molti solfuri, cloruri, ioduri e bromuri provati da Regnault, codesto prodotto, diviso per il numero delle molecole elementari che li costituiscono, dà un quoto assai prossimo al valor medio 6,28, trovato sopra per i corpi inde-

composti. Per gli ossidi, e più per i sesquiossidi si notano sensibili differenze tra i prodotti corrispondenti ai diversi composti d'un medesimo gruppo. E per i composti ternari, quali sono i sali, il prodotto della caloricità per la massa molecolare, benchè sia ancora prossimamente eguale ne' composti d'uno stesso gruppo, non ha però più un preciso rapporto col numero delle molecole semplici che entrano a costituirli.

A schiarire le ora accennate relazioni, citeremo soltanto i valori medi dei prodotti di tali calorie per il peso molecolare dei vari corpi pertinenti a parecchi gruppi, indicando con R il radicale metallico de' composti binari, o delle basi nei sali.

Solfuri metallici della formula RS ₂ ; prodotto 11,7 = 2. 5,85				
Idem	idem	RS ₂	»	20,7 = 3. 6,90
Idem	idem	R ² S ₃	»	30,6 = 5. 6,12
Cloruri	idem	RCI ₂	»	18,7 = 3. 6,23
Idem	idem	R ² CI ₃	»	25,4 = 4. 6,35
Joduri	idem	RI ₂	»	19,4 = 3. 6,47
Idem	idem	R ² I ₃	»	26,8 = 4. 6,70
Bromuri	idem	R ² Br ₃	»	27,6 = 4. 6,90
Ossidi	idem	RO	»	11,5 = 2. 5,75
Idem	idem	R ² O ₃	»	27,2 = 5. 5,45
Acidi	idem	RO ³	»	13,8 = 3. 4,60
Idem	idem	RO ³	»	18,1 = 4. 4,53
Carbonati	idem	CO ³ R	»	21,4 = 5. 4,28
Solfati	idem	SO ⁴ R	»	26,6 = 6. 4,44
Nitrati	idem	NO ⁶ R ²	»	48,3 = 9. 5,37

Si può quindi inferire che la caloricità delle molecole indecomposte non subisce notevole modificazione, quando esse si uniscono in piccol numero a formare composti binari, senza mutare di stato fisico. Ond'è possibile calcolare le calorie C di riscaldamento d'un composto binario il cui peso di combinazione sia E, mercè la relazione

$$EC = nmc + n' m' c',$$

ove m ed m' indicano i pesi proporzionali de' suoi componenti, c e c' le calorie di riscaldamento di questi, n ed n' i numeri delle molecole con cui ciascun d'essi entra nel composto. E poichè la ridetta legge di Dulong e Petit dà $mc = m'c' = p$, ritenuto p il prodotto medio 6,28 sovra trovato, s'avrà pure:

$$(136) \quad EC = p (n + n').$$

Questa relazione, avvertita da Woestyn, potrebbe servire anche a calcolare la caloricità d'un componente, ove si conoscano la calo-

ricità dell'altro componente e del composto, e la formola chimica di questo.

Invece la caloricità delle molecole semplici subisce una notevole modificazione, quando esse si uniscono in buon numero a formare composti ternari. Talchè il modo d'aggruppamento di esse influisce su la loro caloricità. Tuttavia nei composti ternari d'una formola chimica analoga, e quindi d'un analogo modo d'aggruppamento molecolare, la caloricità dei rispettivi pesi di combinazione si mantien costante, pur variando i metalli che entrano nei sali formati con uno stesso acido.

§ 191. Considerando la suesposta serie (§ 188), ove i corpi indecomposti solidi sono ordinati rispetto ai valori decrescenti delle loro caloricità riferite a pesi eguali degli stessi, non si scorge alcuna relazione tra questa loro qualità fisica ed altre loro proprietà fisiche.

Eppure era da prevedere che qualche rapporto di tal genere dovesse sussistere, se è vero, come crediamo, che il calore debbasi tenere quale una forza d'indole generale, la quale, al pari della gravitazione, non dev'essere influenzata dalla diversa natura chimica dei corpi, ma sibbene dalla varia resistenza passiva da ciascun d'essi opposta all'operare di tal forza, cioè dalla loro massa e dalla varia coerenza delle loro molecole.

E appunto, ove si riferisca la caloricità non ai pesi, ma ai volumi, ossia determinando ciò che diremo le *calorie di scaldamento per volumi eguali* de' diversi corpi, col moltiplicare i precedenti valori delle calorie di scaldamento di pesi eguali per la densità relativa d'ogni sostanza, emerge un notevole rapporto tra codeste calorie e la coerenza relativa dei diversi corpi.

Esponiamo perciò sotto *cd* le calorie di temperatura a volume di molti corpi indecomposti solidi, pei quali si ritennero le calorie *c* a peso esposte a pag. 330 ed i pesi specifici *d* esposti nel § 104.

	<i>cd</i>		<i>cd</i>
Potassio	0,143	Silicio	0,438
Sodio	0,285	Arsenico.	0,470
Jodio	0,267	Cadmio	0,487
Tellurio	0,289	Diamante	0,519
Bismuto	0,303	Alluminio	0,556
Antimonio	0,340	Litio	0,559
Selenio	0,343	Molibdeno	0,567
Piombo	0,357	Tungsteno	0,587
Solfo	0,359	Argento	0,597
Stagno	0,415	Oro.	0,624
Magnesio	0,435	Osmio.	0,662

	<i>cd</i>		<i>cd</i>
Ziucco	0,669	Rame	0,847
Palladio	0,670	Ferro	0,882
Iridio	0,678	Cobalto	0,906
Platino	0,685	Niccolo	0,894
Boro	0,697	Manganese	0,921

Molti riflessi si ponno fare sul precedente specchio.

Innanzitutto la caloricità dei vari solidi a volumi eguali offre differenze molto meno rilevanti di quelle offerte dai corpi stessi rispetto alle loro caloricità a pesi eguali. Mentre i valori estremi stanno per questa nel rapporto di 1 a 30,5 (bismuto e litio), per quella il minor valore sta al più grande come 1 sta a 6,4 (potassio e manganese). Il che accenna essere, in generale, maggiore la caloricità a peso dov'è minore la densità.

È poi evidente nell'ora esposta serie la relazione tra la caloricità a volume e la coerenza relativa nei differenti solidi. I corpi non metallici ed i metalli meno tenaci o meno duri e di più facile fusione si trovano nel principio della serie; i metalli più tenaci, più refrattari o più duri figurano tra gli ultimi, e verso il mezzo della serie stanno metalli nei quali ben può dirsi mezzana la tenacità. E questa relazione si fa tanto più rimarchevole in quanto che in codesta serie i corpi si succedono senza relazione alcuna né colla loro densità, né colla loro caloricità a peso; trovandosi corpi assai densi vicini ad altri che hanno ben poca densità, oppur densità mezzana.

Anche per i liquidi si scorge una ben minore differenza tra le calorie di scaldamento a volumi eguali delle varie sostanze che tra le corrispondenti calorie a pesi eguali; il che accenna essere pur in essi la caloricità a peso maggiore dov'è minore la densità. Riporiamo qui le calorie *cd* a volumi eguali per diversi liquidi:

	<i>cd</i>		<i>cd</i>
Acqua	1,000	Bromo	0,390
Acido solforico	0,642	Essenza di cedro	0,377
Alcole metillico	0,484	Petrolo	0,362
Olio d'ulive	0,459	Terebenteno	0,357
Etere acetico	0,457	Cloroformio	0,354
Mercurio	0,449	Cloruro di solfo	0,346
Alcole etilico	0,446	Cloruro di carbonio	0,323
Etere etilico	0,391	Solfuro di carbonio	0,304

Mentre le calorie a peso variano da 30 ad 1 (acqua e mercurio), quelle a volume variano soltanto da 3,5 ad 1 (acqua e solfuro di car-

bonio), cioè questa differenza è nove volte minore della prima. Ed è pur notevole che le calorie a volume sono pei liquidi, esclusa l'acqua, minori, almeno in generale, di quelle esposte per i metalli più coerenti; laddove le calorie a peso nei liquidi sono, in generale, maggiori che nei metalli.

§ 192. Ma meglio ancora si manifesta la intima relazione che sussiste tra la caloricità relativa e la coerenza relativa, prendendo a considerare le *calorie di dilatazione* dei diversi corpi e solidi e liquidi, cioè le calorie volute a produrre eguali aumenti di volume in ciascun d'essi, presi a volumi iniziali eguali. Supporremo presi i diversi corpi sotto l'unità di volumi e ad una medesima temperatura e determineremo le calorie necessarie a produrre l'incremento di 0,0001 del volume stesso. Chiaro è che a tal uopo converrà produrre in ognuno di essi un aumento di temperatura inversamente proporzionale al suo coefficiente di dilatazione cubica, e che poi le calorie di dilatazione si otterranno dividendo le loro calorie di riscaldamento dell'unità di volume per il detto coefficiente moltiplicato per 10.000

Siano d , c , δ la densità relativa, le calorie di riscaldamento dell'unità di peso ed il coefficiente di dilatazione cubica d'un dato corpo. Saranno dc le calorie di temperatura. dell'unità di volume dello stesso. Or queste calorie, mentre producono l'aumento di temperatura del corpo, inducono l'incremento δ nell'unità di volume; quindi, a produrre l'incremento di 0,0001 nel volume stesso si richiederanno le calorie c , date dalla proporzione $dc: c, = \delta: 0,0001$,

epperò $c, = \frac{dc}{10000\delta}$, che sono appunto le calorie di dilatazione sovra considerate.

Ho quindi calcolate le calorie di dilatazione per varie sostanze, solide e liquide, assumendo i suesposti valori per le calorie di riscaldamento dell'unità di volume, ed i più attendibili valori per il coefficiente della dilatazione cubica.

Solidi.

Acciajo	2,659	Zinco	0,784
Platino	2,585	Bismuto	0,744
Ferro	2,485	Stagno	0,615
Rame	1,638	Cadmio	0,519
Oro	1,448	Piombo	0,399
Ottone	1,397		
Argento	1,042	Solfo	0,225
Antimonio	1,030	Jodio	0,109
Alluminio	0,835	Fosforo	0,090

Liquidi.

Mercurio	0,2508	Etere acetico	0,0863
Acido solforico	0,1209	Cloruro di solfo	0,0361
Olio d'ulive	0,0498	Bromo	0,0347
Alcole amilico	0,0498	Cloruro di carbonio	0,0322
Essenza di cedro	0,0430	Cloroformio	0,0320
Alcole etilico	0,0425	Solfuro di carbonio	0,0266
Terebenteno	0,0420	Etere etilico	0,0258
Alcole metilico	0,0408		

Pertanto *a) Le calorie di dilatazione pei liquidi sono, in generale, assai minori che per i solidi.* Nel liquido più coerente, nel mercurio, esse giungono appena ad un decimo di quel che sono nel più tenace fra i metalli usuali, nell'acciajo.

b) Nei solidi, metallici e non metallici, le calorie di dilatazione toccano i più grandi valori dov'è massima la coerenza (sia poi la tenacità, la saldezza, o la durezza), ed i valori più piccoli corrispondono ai meno coerenti. Nel piombo sono poco più che un settimo di quel che sono nell'acciajo, e nel fosforo sono appena un ventesimo del valore cui giungono nel vetro comune.

c) Anche nei liquidi notoriamente più coerenti e meno vaporabili, il mercurio e l'acido solforico, le calorie di dilatazione raggiungono i valori massimi, mentre i minimi valori s'incontrano nei liquidi meno coerenti e più volatili fra i sovrannotati, quali sono l'etere etilico, il solfuro di carbonio ed il cloroformio. Nell'etere etilico codeste calorie toccano appena un decimo del valore corrispondente al mercurio.

d) Esclusi però gli anzidetti due liquidi più coerenti, per gli altri può dirsi che le differenze nelle calorie di dilatazione da liquido a liquido sono minori assai delle corrispondenti differenze nei diversi solidi.

Mi risultò altresì che *le calorie di dilatazione ne' metalli a struttura omogenea sono direttamente proporzionali ai loro coefficienti d'elasticità* (pag. 213); *ne' metalli a struttura cristallina e negli altri solidi cristallizzati hanno relazione colla loro durezza relativa e colle differenze nella dilatabilità termica secondo i vari assi; ne' solidi e ne' liquidi diminuiscono coll'aumentare della temperatura, benchè la caloricità a peso aumenti, e per le singole sostanze sono molto minori quand'esse hanno lo stato liquido che non quando sono solide (a).*

(a) Lo sviluppo e la dimostrazione di queste proposizioni può vedersi in un mio lavoro: *Relazioni tra le proprietà termiche ed altre proprietà fisiche dei corpi.* — Ediz. 2.^a, Pavia 1867.

§ 193. Per i fluidi aeriformi si ricerca non solo, come per i solidi ed i liquidi, la *caloricità a peso* (cioè le calorie volute a scaldare di 1° l'unità di massa d'ognuno di essi), ma interessa ancora di conoscere la loro *caloricità a volume*.

E qui, o si cercano le calorie richieste ad elevare di 1° la temperatura della unità di volume di ogni gas racchiuso in un recipiente così cedevole che il gas possa dilatarvisi liberamente serbando costante la sua forza espansiva, e allora si ha la *caloricità a pressione costante*: oppure si misurano le calorie bisognevoli a scaldare di 1° l'unità di volume d'un gas contenuto in un vaso assolutamente inestensibile, ed allora si ha la *caloricità a volume costante*.

È chiaro che, per ciascun gas, il primo valore sarà maggiore del secondo di una quantità corrispondente alle calorie necessarie a produrre, in opposizione all'esterna pressione, l'aumento di volume, che in esso verificasi. Il rapporto fra questi due valori per un dato gas è denominato il *rapporto delle caloricità a pressione costante ed a volume costante*.

In ogni modo la determinazione delle calorie di riscaldamento nei fluidi espansibili presenta ben maggiori difficoltà, e ricerca ben maggiori diligenze che nei solidi e nei liquidi. Molti fisici tentarono quest'argomento con metodi differenti, ed ebbero risultati tra loro assai discordi. Più degni di fede sono i dati forniti da Regnault.

Egli determinò per molti gas e vapori la caloricità a pressione costante, e riferì la loro caloricità a peso a quella dell'acqua. I pesi specifici da esso assunti per i diversi fluidi elastici sono quei medesimi da noi riportati a pag. 187.

Gas semplici	Calorie		Peso molec.	Prodotto
	a peso	a volume		
Idrogeno . . .	3,4046	0,2356	1,00	3,405
Ossigeno . . .	0,2182	0,2412	16,00	3,401 × 2
Azoto	0,2440	0,2370	14,00	3,416
Cloro	0,1214	0,2962	35,45	4,304
Bromo (vapore) .	0,05518	0,2992	80,00	4,414

Ne emerge che i gas semplici, presi ad eguali volumi, non hanno caloricità tra loro eguali, come dianzi si pensava.

E per essi il prodotto della caloricità a peso per il peso molecolare (α) sembra essere, in generale, la metà di quello dato dai corpi

(a) Qui, come nei paragrafi precedenti, per *peso molecolare* dei corpi abbiám presa quella quantità che i chimici chiamano *peso atomico*; poichè, come s'è veduto sopra parlando dei corpi indecomposti solidi (§ 189), la legge di Dulong

semplici solidi e liquidi: però in generale è notevolmente maggiore di codesta metà. Solo l'ossigeno dà intero quel prodotto.

La caloricità dell'aria atmosferica a peso riferita a quella dell'acqua, risultò dietro più di 100 esperienze 0,2374. E questo valore mantienisi sensibilmente costante anche col variare della temperatura da -30° a 225° . Essa non varia nemmeno col mutare la pressione: poichè in diverse sperienze fatte sull'aria atmosferica, sotto pressioni variabili da 1 a 10 atmosfere, non trovò differenza sensibile tra le calorie emesse da una data massa d'aria nel raffreddarsi d'uno stesso numero di gradi.

Ed esperimentando su diversi altri gas composti venne pure a concludere *che per i gas permanenti la caloricità subisce ben lievi variazioni col variare della pressione e della temperatura.*

Gas	Caloricità		Vapore di	Caloricità	
	a vol.	a peso		a vol.	a peso
Acido cloridrico	0,2333	0,1845	Acqua	0,2989	0,4805
Ossido di carbonio.	0,2370	0,2450	Solfuro di carb.	0,4134	0,1570
Biossido d'azoto.	0,2406	0,2317	Etere cloridrico	0,6096	0,2738
Acido solfidrico .	0,2857	0,2432	Alcole etilico .	0,7204	0,4534
Gas ammoniac.	0,2996	0,5084	Cloroformio . .	0,8354	0,1567
Prot. carb. d'idrog.	0,3277	0,5929	Benzina	1,0113	0,3754
Acido carbonico.	0,3307	0,2166	Etere acetico . .	1,2185	0,4008
Acido solforoso .	0,3414	0,7554	id. etilico . . .	1,2260	0,4797
Protossido d'azoto.	0,3447	0,2262	id. solfidrico .	1,2577	0,4008
Bicarbuo d'idrog.	0,4106	0,4040	Terebenteno . .	2,9823	0,5061

Da questi dati si trae: *a)* che per i gas composti la caloricità a volume differisce poco da un gas all'altro, e le differenze sembrano aver relazione colla contrazione che offrono i rispettivi gas componenti nel formare il composto; *b)* che per essi sono maggiori le differenze tra le loro caloricità a peso; *c)* che invece pei vapori riescono molto minori le differenze tra le caloricità a peso che tra quelle a volume; *d)* che quest'ultime vanno, in generale, aumentando colla complicazione e col numero delle molecole componenti ciascun vapore.

Il Regnault ha altresì verificato che i gas composti di facile liquefazione crescono rapidamente nella caloricità a peso coll'aumentare della temperatura. Per esempio, nel gas acido carbonico a 0° , a 100° , a 200° i valori della caloricità per l'unità di peso gli risul-

e Petit esprimendo un fatto fisico, che ci conduce alla determinazione degli *equivalenti termici*, indipendentemente da ogni fatto chimico, il fisico deve chiamar *molecola* quella parte minima dei singoli corpi, che risponda a quel fatto, quella cioè che è inversamente proporzionale alla rispettiva caloricità.

tarono rispettivamente: 0,1870; 0,2145 e 0,2396. È quindi probabile che lo stesso fatto possa verificarsi pei vapori.

È pur notevole che la caloricità del vapore acqueo, a peso eguale, è circa la metà di quella dell'acqua liquida, ed è pressochè eguale a quella dell'acqua solida, ossia del ghiaccio.

§ 194. Anche nei fluidi aeriformi la caloricità specifica ha relazione colla loro densità relativa, colla loro dilatabilità e colla loro comprimibilità relativa (§ 176 e 140), e quindi anche con quel debil grado di coesione che in taluni di essi si verifica. Però le calorie di riscaldamento ad eguali volumi differiscono nei vari gas molto meno delle corrispondenti calorie a pesi eguali.

E le calorie di dilatazione dei gas, calcolate in egual modo che nei liquidi, differiscono tra loro ancor meno che le anzidette calorie a volumi, poichè quest'ultime sono, in generale, maggiori dov'è maggiore la dilatabilità.

Valgano a conferma i seguenti dati, dove con c si notano le calorie di riscaldamento dell'unità di peso degli indicati gas, con d' la densità relativa, riferita a quella dell'aria, con $p = 0,001293$ il peso dell'unità di volume dell'aria secca a 0° ed alla pressione di 1 atmosfera (talchè il prodotto $d' p$ corrisponde al peso dell'unità di volume dei gas stessi a 0° e ad 1 atmosfera), con $c d' p$ le calorie di riscaldamento dell'unità di volume, con α il coefficiente della dilatazione cubica a pressione costante, e con $c' = \frac{c d' p}{10000\alpha}$ le calorie di dilatazione degli stessi gas.

Idrogeno	0,00000832	Acido carbonico	0,00001153
Aria atmosferica	835	Protossido d'azoto	1187
Ossido di carbonio	843	Acido solforoso	1156

È rimarchevole che fra codesti gas gli ultimi tre, l'acido solforoso, il protossido d'azoto e l'acido carbonico, son quelli che più sentitamente divergono dalla legge di Boyle, mostrando una comprimibilità crescente colla pressione, e che perciò meno resistono alla liquefazione: talchè si manifesta tra le loro molecole una tendenza all'avvicinamento, analoga alla coesione. E appunto questi tre gas offrono per le calorie di dilatazione valori assai maggiori di quelli offerti dai gas precedenti, pei quali non fu sinora possibile la liquefazione, anche con enorme pressione e con intenso freddo.

Per quest'ultimi si può credere che il tenue valore delle loro calorie di dilatazione corrisponda in parte al lavoro meccanico che essi devono produrre nel dilatarsi, in opposizione alla pressione esercitata su di loro dal mezzo involgente.

Negli altri gas invece una parte delle loro calorie di dilatazione corrisponderà ad un'interna resistenza, benchè assai debole, analoga a quella che si esercita nella dilatazione dei fluidi liquidi. Tanto dev'esser piccola codesta interna resistenza, che nel protossido d'azoto le calorie di dilatazione, compresovi l'or accennato lavoro d'elaterio, giungono appena ad un duemillesimo delle calorie di dilatazione del liquido meno coerente, l'etere etilico (pag. 254).

§ 195*. In generale può ammettersi che le calorie c_s di riscaldamento dell'unità di volume di un gas ponno distinguersi in tre parti, ciascuna delle quali compie uno speciale ufficio, secondo la:

$$(137) \quad c = c_s + c_t + c_e + c_m,$$

dove c_s esprime le calorie di temperature, cioè quella parte del calore comunicato che serve ad accrescere la velocità termica delle molecole del gas, in corrispondenza all'aumento di temperatura; c_t le calorie di espansione, cioè quell'altra parte che serve a produrre il lavoro di espansione del gas contro la esterna pressione; e c_e quell'ultima parte delle stesse calorie di riscaldamento che serve a vincere, in taluni gas meno perfetti, la mutua resistenza al discostamento delle loro molecole.

Ora la c_s sarà data quando si conosca il valore dinamico E di una calorìa (come diremo avanti), il coefficiente α di dilatazione del gas, il peso p dell'unità di volume del medesimo, e la pressione P esercitantesi su l'unità di superficie del gas medesimo. Poichè il lavoro di espansione direttamente espresso dal prodotto αP , sarà pur espresso dal prodotto $p c_e E$, ossia s'avrà:

$$p c_e E = \alpha P;$$

e poichè può ritenersi $E = 423,5$ chilogrammi, $P = 10,333$ chilog. per un metro quadrato di superficie, e $p = 1,293 d$, posta d la densità relativa del gas rispetto a quella dell'aria, s'avrà:

$$c_s = \frac{\alpha P}{p E} = 18,87 \frac{\alpha}{d}.$$

D'altra parte le calorie c ponno determinarsi prossimamente mercè la legge di Dulong e Petit, giacchè pei gas esse risentiranno ben minori influenze perturbatrici che ne' solidi e liquidi, attesa la minima azione aggregatrice esercitata dalle loro molecole. Anzi questa potrà ritenersi nulla nel gas idrogeno, sì per la minima sua densità

relativa, si per la costanza dei suoi coefficienti di comprimibilità e di dilatabilità. Quindi per esso, posto $c = 0$, la (137) diventerà:

$$(138) \quad c = c_s - c_e = c_s - 18,87 \frac{\alpha}{d},$$

la quale, assumendo secondo Regnault $c_s = 0,2361$, $\alpha = 0,0036613$ e $d = 0,06926$, dà per l'idrogeno:

$$c = 0,2361 - 0,0691 = 0,1670.$$

E per gli altri gas:

$$(139) \quad c = c_s - 18,87 \frac{\alpha}{d} - 0,1670 \frac{n}{m}$$

posto m del peso molecolare di un gas ed n del numero delle molecole elementari che ne costituiscono la molecola chimica. Ecco i risultati avuti assumendo i dati per c_s , α , d , m ed n i valori più attendibili:

	c_s	c_e	c_t	c_m
Idrogeno	0,2361	0,0691	0,1670	0,0000
Azoto	0,2366	0,0692	0,1673	0,0001
Ossigeno	0,2405	0,0693	0,1666	0,0047
Ossido di carbonio	0,2370	0,0693	0,1656	0,0022
Biossido d'azoto	0,2407	0,0698	0,1670	0,0039
Acido carbonico	0,3316	0,0700	0,2514	0,0102
Protossido d'azoto	0,3454	0,0702	0,2511	0,0141
Acido solforoso	0,3470	0,0737	0,2540	0,0193

Da questi ed altri consimili dati emerge che:

a) Le calorie di espansione e le calorie di temperatura a volume, differiscono di pochissimo da uno ad altro gas di difficile liquefazione;

b) Le calorie c di disgregamento, per quanto piccole sieno nei gas, sono abbastanza apprezzabili in quelli di facile liquefazione, ne' quali esse ponno corrispondere anche ad un diciassettesimo delle totali calorie di riscaldamento;

c) Rispetto alle calorie di temperatura i gas sovra considerati ed altri ponno dividersi in due gruppi, in ciascuno de' quali esse riescono quasi identiche ne' diversi gas. A formare il primo gruppo entrano l'idrogeno, l'azoto, l'ossigeno, l'ossido di carbonio, il biossido d'azoto e l'acido cloridrico; l'altro gruppo conta l'acido carbonico, il protossido d'azoto, l'acido solfidrico, l'acido solforoso ed il vapor acqueo. Ora i gas del primo gruppo o sono semplici o sono

tra quelli che, formandosi con volumi eguali di componenti, non subiscono contrazione in tal atto, laddove i gas del secondo gruppo sono costituiti con volumi diversi de' componenti e presentano colla combinazione una contrazione nel rapporto di 3: 2. In pari tempo il rapporto tra il valore medio delle calorie di temperatura dei gas del primo gruppo e l'analogo valor medio nei gas del secondo corrisponde molto prossimamente allo stesso rapporto di 3: 2.

§ 196. Pertanto, *qualunque sia lo stato fisico dei corpi*, solido, liquido od aeriforme, *la caloricità specifica, considerata in riguardo alle calorie di dilatazione, si mostra correlativa alla varia coerenza delle loro parti, e quindi alle diverse loro proprietà fisiche che con questa hanno attinenza.*

Se ne inferisce che le calorie di riscaldamento d'un corpo, qualunque sia il suo stato d'aggregazione, corrispondono in parte al lavoro necessario a vincere le resistenze interne (coerenza) ed esterne (pressione) che si oppongono alla dilatazione del corpo, ed in parte corrispondono all'energia necessaria ad aumentare la velocità nelle loro molecole, correlativamente al loro aumento di temperatura.

Per questa parte ha valore la predetta legge di Dulong e Petit, la quale significa che codesti incrementi di velocità saranno inversamente proporzionali alle radici quadrate delle rispettive masse molecolari, in modo analogo a quanto si disse (§ 121*) su le velocità molecolari dei gas corrispondenti alla loro forza espansiva.

Liquefazione dei solidi.

§ 197. Oltre alle variazioni nel volume de' corpi, le variazioni nell'intensità della energia termica inducono, almeno in certe condizioni com'altro precipuo loro effetto, le mutazioni nello stato d'aggregazione dei corpi stessi (§ 8).

S'è già accennato, come tesi generale, che, aumentando progressivamente l'intensità del calore, tutti i corpi quale ad uno e quale ad altro punto, assumono lo stato di fluido espansibile, e che per opposto, diminuendo progressivamente la temperatura, tutti i corpi, o si riducono effettivamente in istato solido, od accennano una tendenza a ridurvisi. Ma ora dobbiamo esaminare le particolari condizioni ed i più generali fenomeni che determinano ed accompagnano ne' singoli corpi le diverse mutazioni nel loro stato d'aggregazione molecolare. E per primo diremo della liquefazione de' solidi.

§ 198. La mutazione dallo stato solido al liquido si ottiene per due modi: o per opera di semplice aumento nella temperatura, o per opera di appropriati liquidi o solventi, entro i quali sien posti i diversi solidi: nel primo caso si dice avvenuta una *fusione*, nel se-

condo una *soluzione*. Ma pur nel secondo caso si osserva che, tranne poche eccezioni, l'azione del liquido per dislegare e fluidificare le parti del solido vien notevolmente favorita coll'aumentare la temperatura del solvente. Moltissimi composti inorganici, e segnatamente i sali, e molti prodotti organici i quali alla comune temperie tengono lo stato solido, si fluidificano quali per uno e quali per altro solvente. Però come più semplice, convien prima studiare la liquefazione prodotta per opera di solo calore.

Ormai può dirsi che tutti i solidi, non escluso il carbone, per gagliardia di fuoco si riducon liquidi. Se non che alcuni son detti *refrattarj*, in quanto che non si struggono pur sotto le più alte temperature de' forni, e richiedono per fondersi o la viva combustione ossigenea del gas idrogeno, oppure l'azione calorifica di vigorosa corrente elettrica.

Non si fondono al fuoco delle fucine, ma bensì alla fiamma alimentata dalla combinazione dell'ossigeno coll'idrogeno, nella proporzione da produr acqua, i seguenti metalli: platino, palladio, uranio, titanio, iridio, cerio, rodio, osmio. Lo stesso accade per le basi terrose, in istato di purezza, cioè: allumina, silice, calce, magnesia e barite. Però Enrico Sainte-Claire-Deville giunse a fondere il platino e la silice colla combustione del carbon fossile, mercè un'opportuna disposizione del fornello. Despretz pervenne poi a fondere parzialmente almeno il carbone, facendo operare a lungo su di esso l'azione calorifica di energica corrente elettrica d'induzione.

Due importanti fatti si verificano nella fusione dei solidi: *ogni sostanza si fonde sempre ad una determinata temperatura; e fin tanto che il corpo è in atto di fondersi, mantien costante la temperatura, in onta al calore sorveniente.*

Quanto al primo di questi fatti, diamo qui raccolti i più attendibili risultati d'osservazione circa le temperature di fusione per diverse sostanze, riferite al termometro ad aria.

Secondo Person (1848).

Zinco	415,3°
Piombo	326,2
Cadmio	320,7
Bismuto	266,8
Stagno	232,7

*Secondo Silbermann
e Jacquelin (1853).*

Oro	1260
Rame	1150
Argento	1100

Antimonio	630°
Zinco	436
Cadmio	372
Piombo	321
Bismuto	266
Stagno	236

Secondo Becquerel (1863).

Rame	1225
Oro	1092
Argento	960
Antimonio	595

Zinco	396°	Jodio	107°
Cadmio	316	Sodio	97,6
Piombo	311	Potassio	55,5
Bismuto	256	Fosforo	44,2
Stagno	218	Ghiaccio	0,0
Litio	180	Bromo	— 20,0
Solfo	110	Mercurio	— 40,0

Ove si pensi alla difficoltà di ottenere ogni sostanza metallica in istato di perfetta purezza, ed alle differenze ed imperfezioni dei metodi termometrici, massime ove trattisi di temperature molto elevate (pag. 238), può credersi che le divergenze fra i dati suesposti de' varj sperimentatori riguardanti una sostanza sono da ascriversi ad errori d'osservazione, e che perciò la temperatura di fusione — almeno per le sostanze metalliche — sia costante e determinata per ciascheduna di esse, non ostante le differenze nell'altre circostanze esterne (a).

Pigliando a considerare le sostanze solide metalliche, si scorge bensì che, in generale, quanto più coerente è il solido, tanto più elevata ne è la temperatura di fusione: tuttavia non poche divergenze si presentano in una serie così ordinata.

Ora codeste irregolarità scompajono, ove si prenda a calcolare ciò che diremo le *calorie di fusibilità* dei solidi, cioè le calorie volute a scaldare l'unità di volume d'ogni sostanza presa allo zero assoluto (supposto a circa -273°), sino alla rispettiva temperatura di fusione. Saranno dunque codeste calorie di fusibilità:

$$(140) \quad F = \frac{cd}{1 - 273\delta} (t + 273),$$

ritenuto c le calorie di scaldamento dell'unità di peso, d la densità relativa, δ il coefficiente della dilatazione cubica, e t la temperatura di fusione, contata dal consueto zero termometrico. Ecco i valori di codeste calorie per quelle sostanze delle quali si conoscono le temperature di fusione:

Ferro	1580	Alluminio	609
Cobalto	1530	Zinco	472
Platino	1430	Cadmio	297
Palladio	1335	Antimonio	241
Rame	1181	Piombo	219
Oro	962	Stagno	213
Argento	773	Bismuto	164

(a) Però pressioni molto valide ponno far mutare alcun po' la temperatura di fusione delle sostanze, come diremo innanzi.

Da questo specchio emerge chiaro che, in generale, *le calorie di fusibilità, così calcolate, sono assai meglio proporzionali alla coerenza relativa delle varie sostanze, che noi siano le semplici loro temperature di fusione.* Il ferro ed il cobalto sono certo più tenaci che il platino ed il palladio, benché le temperature di fusione di quest'ultimi siano notevolmente più elevate; similmente lo zinco è più coerente dell'antimonio, ed il bismuto è men saldo dello stagno.

Il fatto più sopra accennato della costanza nella temperatura di fusione d'un solido fu avvertito primamente nella liquefazione del ghiaccio; e fu anzi in vista del medesimo che i fisici trascelsero la temperie di fusione del ghiaccio come uno dei punti fondamentali per la graduazione de' termometri (p. 215). Imperocchè tanto il ghiaccio più compatto (purchè sia proveniente dalla solidificazione di acqua pura), quanto la neve più fioccosa, in qualsiasi luogo e tempo, mentre si squagliano, presentano e conservano sempre la stessa temperatura, ancorchè l'ambiente abbia una temperatura più elevata. In altre parole il ghiaccio non può presentare una temperie superiore a 0° senza ridursi liquido, il calore sorveniente dovendo, prima di scaldar più oltre il corpo, effettuare la mutazione nello stato d'aggregazione delle sue molecole, a compier la quale è necessaria una certa quantità di calore.

§ 199. Chiamasi perciò *calorie di fusione o di liquefazione* del ghiaccio, ed in genere di una data sostanza solida, il numero di calorie (§ 154) richieste ad effettuare la fluidificazione dell'unità di peso della medesima sostanza, senza punto aumentarne la temperatura (α).

Per determinare le calorie di fusione del ghiaccio suolsi far uso del calorimetro ad acqua (pag. 245).

Abbiasi una massa m di acqua alla temperatura t , e vi si introduca una massa m' di ghiaccio a 0° ma ben asciutto: e sia t' la temperatura della miscela. Compita la fusione, si avranno le calorie di liquefazione λ dell'unità di massa del ghiaccio colla formola:

$$(141) \quad \lambda = \frac{m}{m'} (t - t') c - t' c'$$

essendo c e c' la caloricità specifica dell'acqua fra t' e t e fra 0° e t' .

Devesi però tener conto delle calorie cedute dal vaso in cui si compie la miscela, e dal termometro ed agitatore in essa immersi, non che delle calorie perdute per irradiazione e per evaporazione; e devesi usare somma diligenza nel determinare le quantità m , m' , t e

(α) Alcuni fisici denominano *calor latente* di fusione d'un solido l'anzidetta quantità di calore, in quanto riesce insensibile al termometro. Ma noi preferiamo la denominazione suesposta, la quale esprime più direttamente il fatto.

sovratutto t' . Convieni poi che sia m molto maggiore di m' , e d'altra parte che sia t di poco superiore alla temperatura [dell'ambiente, affinchè la fusione del ghiaccio riesca rapida, ed in pari tempo riesca piccola l'anzidetta perdita di calore per irradiazione e per svaporazione.

Molti fisici s'occuparono per determinare le calorie di liquefazione del ghiaccio. Provostaye e Desains (1843), usando ogni diligenza, ebbero per medio di varie prove 79,25, risultato confermato tosto dopo da Regnault, il quale per medio di quattro sperienze colla neve ben cristallizzata, ottenne 79,24, mentre col ghiaccio in pezzi piccoli e ben asciutti ebbe, per media d'altra serie di prove, 79,09. Da ultimo Person (1850) avvertì che il ghiaccio incomincia a rammollirsi tal poco a -2° , e che perciò, tenendo conto anco del calore richiesto ad effettuare questo rammollimento, le calorie di fusione del ghiaccio sommano ad 80,0. Nondimeno lorquando il ghiaccio è preso effettivamente a 0° , può ancora assumersi per le calorie di fusione del medesimo il valore 79,25.

Anche queste calorie di fusione, quando siano riferite, invece che a pesi eguali, ad eguali volumi pei varii solidi lorchè stanno per fondersi, cioè già scaldati alle rispettive temperature di fusione, si mostrano correlative alle modificazioni nello stato di coerenza e di volume che accompagnano la liquefazione.

Determinate che siao le calorie l necessarie a fondere l'unità di peso del solido, ove si conoscano la densità relativa d a 0° ed il coefficiente medio δ della dilatazione cubica del solido stesso da 0° alla temperatura t di sua fusione, s'avranno le calorie di fusione l' dell'unità di volume del solido a questa temperatura t mercè la:

$$(142) \quad l' = l \frac{d}{1 + \delta t}.$$

Ed ecco codeste calorie, calcolate in base ai dati di Person per le calorie di fusione, ed a quelli di Kopp e di Billet per le dilatazioni dei corpi non metallici:

<i>Metalli</i>	Calorie di fusione	
	a peso	a volume
Argento	21, 1	208,1
Zinco	28, 1	186,1
Bismuto	12, 6	123,1
Cadmio	13, 6	114,7
Stagno	14, 3	102,3
Piombo	5,37	59,8
Mercurio	2,84	40,9

<i>Metalloidi</i>	Calorie di fusione	
	a peso	a volume
Jodio	11,71	55,3
Bromo	16,19	51,7
Solfo	9,37	18,1
Fosforo	5,03	8,8

Laonde le calorie di fusione dell'unità di volume, ben meglio di quelle relative all'unità di peso delle varie sostanze, *accennano al lavoro meccanico necessario a vincere le diverse resistenze interne che s'oppongono alla loro liquefazione.* E queste son varie.

Per tutti i solidi c'è da vincere la coesione, in relazione al diverso operare della gravitazione molecolare, poichè, ridotti allo stato liquido, offrono una coesione minore che in istato solido. Ne' corpi a struttura cristallina c'è da superare anche la resistenza opposta dalle loro molecole al ruotare le une sulle altre: ed in questi il più delle volte c'è da produrre una variazione assai sentita nelle distanze molecolari.

Però nei metalli a struttura uniforme la prima di codeste resistenze interne è la prevalente; trattandosi di renderne le particelle slegate fra loro in opposizione alla gravitazione molecolare. E appunto pei metalli suindicati si rileva essere le calorie di fusione per eguali volumi tanto maggiori quant'è più grande la loro tenacità, ed in genere la loro coesione relativa.

Ma è da notare che la tenacità e la coesione relativa di dati metalli ad alte temperature non tengono più quegli stessi rapporti che mostrano a bassa temperatura; massime se si confrontano metalli le cui temperature di fusione siano molto diverse.

Tuttavia, se poi si considerano le *calorie totali di liquidità*, cioè se si sommano le *calorie di fusibilità* (trovate sopra) colle *calorie di fusione*, a parità di volume, pei diversi metalli, le si trovano ancor meglio proporzionali alla coerenza relativa de' metalli stessi, valutata a basse temperature; poichè *queste calorie totali rappresentano la somma di calore voluta a ridur liquidi i varii solidi, supponendo di prenderli allo zero assoluto.*

<i>Metalli</i>	cal. di fusib.	cal. di fusione	cal. totali
Argento	773	208	981
Zinco	472	186	658
Cadmio	297	115	412
Stagno	213	102	315
Bismuto	164	123	287
Piombo	219	60	279
Mercurio	106	41	147

<i>Metalloidi</i>	cal. di fusib.	cal. di fusione	cal. totali
Jodio	101	55	156
Solfo	137	18	155
Bromo	67	52	119
Fosforo	105	9	114

Proporzionatamente alle calorie totali, le calorie di fusione sono in minor numero ne' metalli a struttura meglio uniforme, quali sono sovra tutti l'argento ed il piombo, che nol siano ne' metalli a struttura ineguale e cristallina, quali sono lo stagno, lo zinco e più ancora il bismuto. È dunque in quest'ultimi, pur scaldati alla temperatura di fusione, ancora rilevante l'azione delle forze aggregative molecolari.

Nei corpi solidi non metallici, e massime in quelli a struttura cristallina, la liquefazione va quasi sempre accompagnata da una notevole variazione di volume, indipendente da mutazione di temperatura, la quale è in più nel maggior numero dei casi, ma in alcuni è in meno, come si dirà meglio poco avanti. Ora è facile vedere che le calorie di fusione, dovendo rappresentare anche il lavoro corrispondente a questo spostamento molecolare, saranno maggiori dov'è maggiore la variazione stessa, qualunque poi ne sia il verso (a).

Secondo Person, le calorie di fusione λ dell'unità di peso d'una sostanza solida si ponno calcolare colla relazione:

$$(143) \quad \lambda = (T + t)(l - s) + 0,00167 \left(1 + \frac{2}{\sqrt{d}} \right) c,$$

(a) Che le calorie di fusione delle sostanze poco tenaci corrispondano, in parte almeno, al lavoro meccanico voluto a produrre sia la dilatazione, sia la contrazione che accompagna la loro liquefazione, viene confermato da quest'altro fatto importante. I solidi che nel fondersi crescono di volume, offrono un aumento nella temperatura di fusione in opera di una pressione meccanica esercitata su di essi; cioè la pressione meccanica, opponendosi alla espansione della sostanza, la mantiene liquida anche a temperatura superiore a quella per cui essa si rassoda, ove non s'eserciti pressione esterna. Così verificò Bunsen per lo spermaceti e la paraffina, e così confermò Hopkins per la cera, l'acido stearico ed il solfo.

All'incontro, le sostanze, che nel fondersi si contraggono, offrono una diminuzione nella loro temperatura di fusione coll'aumentare delle esterne pressioni. Così verificò Thompson pel ghiaccio. Giusta i suoi dati l'aumento d'un'atmosfera nella pressione produce una diminuzione di 0^o,0075 nella sua temperatura di fusione. Mousson con una pressione, che stimò superiore a dieci mila atmosfere, giunse a ridur liquido il ghiaccio ed a mantenerlo liquido per gran tempo, servendolo ad una temperatura di - 18^o. Qui dunque la pressione meccanica opera come un aumento di temperatura: poichè essa, facendo accostare le molecole del ghiaccio, si oppone a quella particolare disposizione che assumer devono le molecole nella forma cristallina.

dove l ed s esprimono le sue calorie di scaldamento dell'unità di peso in istato liquido ed in istato solido, t la sua temperatura di fusione riferita al consueto zero termometrico, T una temperatura inferiore a questo zero e corrispondente ad una totale privazione di calore per la sostanza solida, e il suo coefficiente d'elasticità, e d la sua densità. Però nelle sostanze molto tenaci, essendo l ed s poco differenti tra loro, le calorie λ , secondo Person, sarebbero dipendenti quasi unicamente dal secondo membro; laddove per le sostanze poco coerenti, per le quali è piccolo e , le calorie stesse dipenderebbero quasi interamente dal 1.^o termine.

§ 200. Anche liquefacendo un solido per via di soluzione entro un liquido col quale non eserciti azione chimica, si osserva che *per effettuare la mutazione nel proprio stato di aggregazione il solido sottrae calore dal veicolo e dai corpi circostanti*; cioè richiede anche in tal caso un dato numero di calorie per sciogliersi.

Purchè adoperando sali cristallizzati per via umida, e però a sufficienza idratati, si osserva che la loro soluzione nell'acqua è sempre accompagnata da un raffreddamento, e che sciogliendo successivamente pesi eguali d'un dato sale in uno stesso liquido, le calorie richieste riescono ad ogni volta minori.

Person avvertì inoltre che i sali poco idratabili, aventi cioè una debole affinità per l'acqua, ricercano un maggior numero di calorie a liquefarsi per soluzione che non a fondersi per semplice calore. Per esempio, l'azotato potassico a sciogliersi entro 5 parti d'acqua richiede 49 calorie, mentre per fonderlo bastano 49 calorie. E la sottrazione di calore causata dalla soluzione cresce, per questi sali, coll'aumentare la quantità del veicolo; così, in 20 parti d'acqua, il predetto sale sciogliendosi, necessita di 80 calorie. Pur col cloruro sodico si rileva che, allungando con nuova acqua una soluzione già compiuta e meno che satura, accade un raffreddamento ulteriore, minore però di quello già avvenuto per l'anteriore soluzione. Anco diminuendo la temperie del veicolo riesce maggiore l'assorbimento di calore: ad esempio, il predetto azotato potassico, che per sciogliersi nell'acqua a 20° ricerca 80 calorie, ne necessita di 86 nell'acqua a 0° (a).

§ 201. Le *miscele frigorifere* offrono un'applicazione del raffreddamento prodotto dai solidi lorchè si liquefanno per unirsi a dei liquidi o ad altri solidi. Prendiamo ad esempio le miscele di ghiaccio ed alcole, o di ghiaccio ed acido solforico diluito. In questi casi il calore pro-

(a) Questi fatti confermano mirabilmente il concetto che le calorie di soluzione di un solido rappresentano unicamente il lavoro meccanico necessario a disgregarlo e poi a discioglierlo.

dotto da affinità (*a*), non potendo scaldare la miscela oltre la temperatura di fusione del solido, non fa che affrettare la liquefazione di quest'ultimo, ossia lo fa fondere ad una temperatura inferiore a quella cui da solo si fonderebbe, ed intanto la stessa fusione affrettata è causa di raffreddamento, grazie alle calorie sottratte ai corpi circostanti per effettuare la propria mutazione dello stato fisico (*b*). E perchè coteste azioni e reazioni succedano rapidamente, converrà ridurre dianzi i solidi in parti minute, onde moltiplicare i punti di mutuo contatto tra i corpi che devon reagire fra loro. E raffreddando con una di tali miscele le materie che ne formino un'altra, s'otterrà in questa una temperatura ancor più bassa di quella avuta colla prima: così con diverse miscele formate tutte con neve ed alcole, si può ottenere persino la temperatura di -80° .

Con acido carbonico solido ed etere si forma una pasta che mantieni per qualche tempo a -75° , anche esposta all'aria: anzi ponendola nell'aria rarefatta, Faraday ottenne di abbassare la temperatura sino a -110° , e ciò per una ragione che si accennerà più innanzi. Con una miscela di solfuro di carbonio e di acido carbonico solido si ottiene all'aria libera -93° , e nel vuoto pneumatico -150° .

Solidamento dei liquidi.

§ 202. Quasi tutti i corpi che in certe condizioni di temperie si tengono liquidi, col progressivo diminuire della temperatura, quale ad un punto e quale ad un altro, riduconsi solidi. Laonde si può argomentare che anche l'alcole e l'etere, ben puri, ed alcuni altri

(*a*) Poichè è noto che, operando coll'acqua liquida invece che solida, queste stesse miscele promuovono uno scaldamento assai notevole.

(*b*) Codesto asserto può sembrare, a primo aspetto, paradossale. Eppure esso corrisponde appuntino al fatto seguente, rilevato già dagli accademici del Cimento. Un vasetto, contenente acqua tiepida ed un termometro, è collocato entro del ghiaccio in altro vaso. Il raffreddamento dell'acqua interna è più rapido quando il ghiaccio vien fuso prestamente ponendo il vaso esterno entro acqua tiepida, che non avvenga quando il ghiaccio lentamente si scioglie in ambiente a temperatura poco superiore a zero. Il calore esterno, attivando la fusione del ghiaccio, provoca una sottrazione di calore da tutte le parti di esso, e quindi anche dell'acqua che sta nel vasetto interno. Questa prova mi riesci benissimo con opportuno apparatino a tre vasi concentrici, simile al calorimetro a ghiaccio (pag. 326), purchè l'acqua esterna non ecceda di 30° la temperatura dell'ambiente. Per esempio, in una esperienza, quando nel vaso esterno eravi aria a $10^{\circ} 2$, l'acqua interna si raffreddò di $3^{\circ} 0$ in $8'$, mentre si raffreddò di $5^{\circ} 25$ nello stesso tempo quando all'esterno eravi acqua a $33^{\circ} 4$, per medio dell'esperimento: essendo ne' due casi eguale la temperatura iniziale dell'acqua interna, ed eguale la temperatura dell'ambiente.

liquidi, i quali finora non si poterono solidificare, gelerebbero ove si giungesse a produrre freddi più intensi di quelli che fin qui si separo ottenere.

Le condizioni della solidificazione di una sostanza sono, in generale, le inverse di quelle accennate per la liquefazione della sostanza medesima; cioè *la temperatura deve nel liquido abbassarsi, almeno, sino al grado della liquefazione del solido corrispondente, e la sostanza liquida, nel consolidarsi, deve cedere ai corpi circostanti le proprie calorie di liquefazione.*

Quindi un liquido nell'atto che si rassoda, si riduce esattamente alla temperatura di fusione, quand'anco prima esso fosse ad una temperatura inferiore, senza però poterla oltrepassare: e di più la solidificazione procede lentamente dalle esterne alle interne parti della massa.

L'acqua, ove sia pura, spogliata d'aria e non agitata, può ridursi a -12° ed anco a -15° , senza agghiacciarsi (a); ma in allora basta un menomo tremito perché s'abbia a scaldare appunto sino a 0° , riducendosi repentinamente in istato solido. Un simile fatto verificò Despretz in molte soluzioni saline. Molti poi sono i fenomeni che si ponno citare come dipendenti dal calore emesso da un liquido nel solidificarsi.

Il solfo ed il fosforo ponno serbarsi liquidi a temperature molto inferiori a quella della loro fusione. Bellani (1813) vide il fosforo fuso serbarsi liquido, anche per interi giorni, a temperature di pochi gradi superiori a 0° , ed il solfo a 19° ; però tanto l'uno che l'altro si solidificavano in un istante, toccandoli con un corpo estraneo e meglio con un pezzo solido degli stessi corpi: laddove la sola agitazione ed anco i moti vibratorii non bastavano a farli solidificare. Osservazioni analoghe a quelle di Bellani furono poi fatte da Faraday (1826) e da Clark (1828).

§ 203. Molti liquidi, nell'atto che si solidificano, variano notevolmente di volume: però in alcuni accade una dilatazione, in altri una condensazione.

Diversi fatti mostrano che l'acqua, agghiacciando, si dilata. Secondo Thompson, il peso specifico del ghiaccio a 0° sarebbe 0,921, preso per unità quello dell'acqua a 4° . Ora la densità dell'acqua a 0° essendo 0,99987, il volume del ghiaccio sta a quello dell'acqua, ad egual temperatura, come 1,0856: 1,0; epperò l'acqua, gelando, subirebbe una dilatazione di circa un dodicesimo del proprio volume, ossia una dilatazione pressochè doppia di quella ch'essa subisce pas-

(a) Per raggiungere queste basse temperature, convien ricoprire l'acqua con un sottile strato d'olio, il quale impedisce il rientrare in essa dell'aria, che dianzi si sarà eliminata colla ebollizione.

sando da 0° a 100° (mentre a 100° presenta il volume 1,04365, preso per unità il di lei volume a 0°). Nel determinare il peso specifico del ghiaccio bisogna aver riguardo alle bolle d'aria, che sovente in esso si riscontrano: poichè l'aria che sta condensata nell'acqua liquida, riprende lo stato di fluido espansibile, nell'atto che questa si riduce solida, e quindi syolgesi in forma di bolle. Però anche Bellani (1808) in diversi pezzi di ghiaccio perfettamente trasparenti, e quindi privi d'ogni bolla d'aria visibile, trovò il peso specifico 0,922; valore abbastanza concorde col precedente di Thompson.

Cotesta dilatazione che accompagna la solidificazione dell'acqua spiega una forza, che quasi può dirsi irresistibile, per vincere la coerenza dei solidi ne' quali essa sta rinchiusa (α); il che dimostra quanto siano vigorose le forze molecolari, determinatrici dello stato d'aggregazione de' corpi.

Anche il bismuto si dilata non poco nel solidificarsi. Marx dalla quantità di metallo che esce, in forma di escrescenze, dalla crosta del bismuto quando si congela, paragonata colla massa totale, deduce una dilatazione di 0,019 del volume del metallo liquido. Questa proprietà viene in esso diminuita, e talora anche distrutta, legandolo con metalli che invece si condensano nel solidificarsi.

Kopp (1855) studiò per diversi corpi le variazioni di volume relative alla mutazione nel loro stato fisico, valendosi d'un processo analogo al metodo termometrico usato per istudiare la dilatazione dei liquidi. E preso in ogni caso per unità dei volumi quello che ciascun corpo presenta alla temperatura 0°, ebbe i seguenti risultati:

	Temp. di fusione	Vol. alla temp. di fusione inistato	
		solido	liquido
Fosforo	44°	1,0159	1,0517
Solfo	115	1,0956	1,1504
Jodio	107	1,0487	1,2611
Cera	64	1,1607	1,1656
Acido stearico	70	1,0793	1,1980
Ghiaccio	0	1,0000	0,9091
Cloruro calcico	29	1,020	1,118
Fosfato sodico	35	1,005	1,056
Iposolfito sodico	45	1,007	1,058
Lega di Rose	95 a 98	0,9917	1,0101

(a) Gli accademici del Cimento giunsero, per questa forza, a far screpolare alcune sfere cave di cristallo, di argento e di ottone. La massima grossezza delle pareti delle sfere di ottone squarciate fu di millim. 12. Huygens ottenne la rottura d'una canna da schioppo turata con una vite e con piombo fuso; Buot di un cannone colle pareti grosse un dito, e William di una bomba col metallo grosso più di due centimetri.

Pertanto tutti gli indicati corpi, ad eccezione del ghiaccio, nel liquefarsi, aumentano di volume: nella cera però cotesto aumento è poco sensibile.

§ 204. Quando un liquido, che tiene in sé disciolti alcuni gas, passa allo stato solido, questi, ripigliando la loro forza espansiva, producono innumerevoli bollicine, piccolissime, le quali fanno crescere il volume della massa ancor fluida; epperò una parte di questa, dopo la solidificazione della porzione superficiale, dall'interno erompe fuori per le parti meno resistenti della superficie libera rappigliata, e produce certe singolari emersioni di materia fluida, le quali presentano qualche rassomiglianza coi fenomeni delle eruzioni vulcaniche. Questo fatto, osservato già nella solidificazione dell'argento puro e del litargirio, i quali assorbono una notevole quantità di ossigeno atmosferico, mentre sono fusi, venne riprodotto in un modo assai rimarchevole da Gorini con certe miscele ch'ei chiamò *plutonj*, e delle quali volle tenere celata la composizione.

In seguito alle prime sperienze del Gorini volli anch'io tentare diverse miscele che riescissero a produrre i detti fenomeni. Eccone alcune.

Il solfo che, da solo, rassodandosi, lascia qualche lacuna sotto la crosta solida superficiale, riceve da molte sostanze organiche la facoltà di produrre, nel solidificarsi, talune regolari emersioni di liquido dall'interno, le quali formano delle prominenze al disopra della pellicola superficiale dapprincipio rappigliatasi. Il terebenteno e l'essenza di menta a circa 200°, il petrolio a circa 210°, e la glicerina a circa 260° (d'un termometro a mercurio con serbatoio di cristallo), ciascuno nella proporzione in peso di circa 1 su 10 di solfo, danno prominenze elevate ed assai svariate di forma, per mezzo di materia liquida lentamente e regolarmente trasudante dall'interno, accompagnata da bollicine gazoze tanto piccole da non essere discernibili ad occhio nudo.

Sembra però che pur alcune sostanze inorganiche valgano a plutonizzare il solfo; poichè più volte ottenni regolari e copiose emersioni, analoghe a quelle avute colla glicerina, scaldando oltre i 300° del solfo puro (fiori di solfo) con circa un quinto in peso di carbonato calcareo puro (marmo bianco saccaroide) polverizzato.

Formazione dei vapori.

§ 205. *Tutti i liquidi, nelle ordinarie condizioni di temperatura e di pressione atmosferica, emettono dalla superficie libera alcune loro particelle in forma di fluidi aeriformi, chiamate vapori. Così fatta mutazione nello stato d'aggregazione d'un liquido è detta evaporazione o svaporazione.*

Le particelle costituenti la superficie libera di una massa liquida omogenea presentar devono una densità minore che nel resto della massa, poichè per esse le azioni tensive o repulsive molecolari non riescono, come nell'interno, equilibrate da un egual numero di azioni aggregative. Perciò esse tendono a proiettarsi all'esterno, in onta alla pressione atmosferica, con un'energia la quale cresce rapidamente coll'elevarsi della temperatura. Dicesi perciò *forza evaporante* di un liquido codesto sforzo delle sue particelle superficiali per isvincolarsi dal sistema liquido col quale stavano aggregate, e per tramutarsi in vapore.

Qualora poi su la detta superficie libera venga annullata la pressione atmosferica, come accade nel vuoto torricelliano, la forza evaporante dispiega più distintamente il proprio effetto.

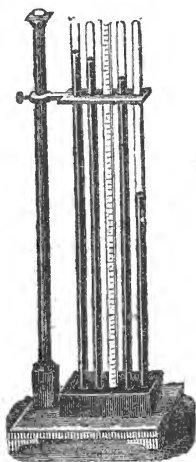


Fig. 153.

Per questa dimostrazione suolsi adoperare un semplice apparecchio. Alcune canne preparate col mercurio al modo di Torricelli (§ 107) pescano col loro estremo aperto in una stessa vaschetta con mercurio, e stanno, coll'asse loro verticale, rattenute da opportuni morsetti. Lasciata una di queste canne col solo mercurio, come una canna torricelliana, si fanno penetrare nell'altre alcune gocce di uno o d'altro liquido, privato d'aria: questo, salito per minore densità al sommo della colonna, la fa abbassare di tale quantità, che si argomenta, mercè una scala, confrontandola coll' altezza della colonna torricelliana. Usando acqua, alcole ed etere, si riconosce che, ad una stessa temperatura, i vapori di questi liquidi spiegano forze espansive tra loro assai diverse.

Però i vapori stessi, una volta formatisi, trovando uno spazio limitato ove diffondersi, spiegano una loro propria tensione, e stando in contatto col liquido che li produce, giungono ben presto ad equilibrarne la forza evaporante, qualora la temperatura si mantenga costante ed uniforme in tale spazio. Allora si dice che quel vapore, raggiunse una densità massima (α) e spiega una massima tensione in corrispondenza all'accennata temperatura.

(α) Comunemente questa, che diciam densità massima d'un vapore ad una data temperatura, è chiamata *densità di saturazione* dello spazio. Ma vuolsi

Poichè, se cotesto spazio verrà ristretto o dilatato, coll'inclinare o raddrizzare la canna, accadrà la liquefazione di una parte del preesistente vapore o la svaporazione di altra parte del liquido, sicchè il vapore presenterà ancora la stessa densità e la stessa tensione di prima. Che se invece si abbasserà o si eleverà la temperatura, restando invariato lo spazio, scemeranno o cresceranno tanto la forza evaporante del liquido, quanto la tensione massima del vapore, per modo che, in ogni caso, l'una forza equilibri l'altra; ed in pari tempo scemerà o crescerà anco la densità massima del vapore, ossia si richiederà una quantità tanto maggiore di vapore per ottenere questo massimo in un dato spazio, quanto maggiore ne sarà la temperatura.

Però pei diversi liquidi, anco ad eguale temperatura, riescono notevolmente differenti tanto le loro forze evaporanti, quanto le tensioni massime dei loro vapori. Alcuni liquidi poi, come il mercurio, l'acido solforico concentrato, gli olj fissi, pure nel vuoto torricelliano, presentano a temperature inferiori a 15° , così debole forza evaporante, da riescir trascurabile la tensione dei loro vapori.

I vapori, qualora siano presi a densità minori della massima corrispondente alla temperatura loro, e non si trovino in contatto col liquido che può produrli, si mostrano compressibili ed espansibili allo stesso modo del gas, cioè prossimamente secondo la legge di Boyle (§ 116). Non sussiste però, come credevasi un tempo, un' essenziale differenza tra vapori e gas, da che molti gas si ridussero liquidi, come s'indicherà più innanzi. Nulladimeno si riserva il nome di vapore a quei gas che ponno liquefarsi a temperature non minori di 0° , e sotto pressioni non maggiori di un'atmosfera.

§ 206. Quando la temperatura dello spazio in cui è diffuso un vapore a densità massima è in alcuni punti minore che in altri, accade una parziale liquefazione del vapore medesimo, riducendosi questo in ogni parte a quella massima tensione che compete alla minima temperatura ivi sussistente. Però allora la densità del vapore sarà minore in quei punti ove la temperatura sarà maggiore, come accadrebbe di un gas che fosse in equilibrio di forza espansiva entro uno spazio avente temperature diseguali ne' varj suoi punti. E se per avventura il liquido svaporante si troverà dappprincipio nelle parti di tal spazio dove è maggiore la temperatura, esso, continuando ad evaporare, manderà il vapor suo a raccogliersi man mano dove minore è la forza espansiva (cioè là dov'è più bassa la temperatura),

avvertire che codeste locuzioni, *spazio saturo di vapore*, *densità di saturazione dello spazio*, sono poco proprie, ossia traggono facilmente ad un erroneo concetto del fenomeno.

e quivi si condenserà in forma liquida. (V. fig. 154). Anzi tali atti di evaporazione del liquido e condensazione del vapore si continueranno finchè sussisterà quella eccedenza di temperatura, e finchè ri-

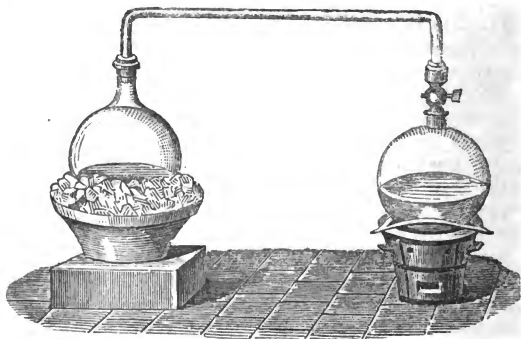


Fig. 154.

marrà una parte di liquido nello spazio caldo. Su tal principio si fondano anche gli apparecchi di distillazione dei liquidi.

§ 207. Insino a quest'ultimi tempi si opinò che quando un liquido si trova a contatto d'uno spazio limitato, dove la forza espansiva propria del vapore eguaglia la forza evaporante del liquido, questo cessasse al tutto dallo svaporare.

Ma è facile vedere che siffatta opinione è contraddittoria con tutte le altre nozioni su la costituzione dei vapori e su le proprietà de' liquidi. Infatti *ne può un liquido cessare dallo emettere vapori dalla sua superficie* pel semplice contatto con un vapore, *ne può un vapore, al massimo di densità, non liquefarsi al contatto col liquido ad esso omogeneo.*

Poniamo ad esempio d'aver introdotte in una canna torricelliana ben preparata alcune gocce d'acqua, le quali, giunte nello spazio dove non avvi liquido, vi abbian prodotto tanto vapore, che questo tocchi la massima densità corrispondente alla temperatura dello spazio e del liquido.

E prima non si comprende perchè il liquido debba allora, e d'un tratto, cessare dall'emettere particelle di vapore dalla sua superficie libera, mentre sino a tal punto esso ciò faceva per una cagione intrinseca, cioè inerente alla costituzione fisica dello stesso velo liquido superficiale (§ 205). E d'altronde non si comprende come co-

desta svaporazione abbia a cessare grazie alla semplice pressione esercitata dal vapore sovrastante, poichè l'evaporazione avrebbe pur luogo, è ben noto, quando il fluido aeriforme sovraincumbente fosse aria od un gas qualunque, ed ancorchè questo avesse una densità ed una tensione molto superiori a quelle del detto vapore: tutt'al più, col crescere della densità del gas, si rallenta la svaporazione del liquido, ma questa non può cessare al tutto, purchè il gas sia secco. Dunque non v'è ragione che il liquido più non possa evaporare per ciò solo che nel sovrastante ambiente v'è un fluido aeriforme di natura analoga a quella del liquido, e con una data forza espansiva, pur non rilevante.

E meno poi può ammettersi che il vapore, quando sia veramente nello stato di densità massima, possa non liquefarsi al contatto col liquido. Ed invero le molecole di quel vapore devono già trovarsi a tale media distanza fra loro che non possa esser diminuita, anche di pochissimo, senza che si renda operativa la scambievole loro gravitazione, coll'aggregarsi e condensarsi in liquido, dappoichè si ammette massima la rispettiva loro tensione in rispondenza ad una data temperatura. In siffatte condizioni è evidente che una molecola dello stesso vapore, la quale sia contigua alla superficie del liquido, dovendo gravitare verso questa con un'intensità maggiore d'assai che verso le sovrastanti molecole, ossia entrando essa nel raggio d'azione delle forze aggregative del liquido, sarà forzata per tale eccedenza d'azione a condensarsi ed aggregarsi al liquido stesso (a). Ciò che dicesi di una, vale per tutte le molecole che trovansi in contiguità colla massa liquida da una banda e dall'altra con molecole di vapore alla densità massima. E questa deduzione sarà ancora più evidente, qualora, come noi abbiam detto pei gas (§ 122), le molecole di vapore siano animate da un intestino moto di traslazione o di vibrazione.

Ora, se da una parte il liquido non può lasciar mai di svaporare, e se il vapore che tocca il liquido non può lasciare d'aggregarsi ad esso, conviene concludere che è falso il concetto che lo spazio limitato sovrastante al liquido possa dirsi saturo di vapore, come che ogni cosa ivi si riducesse in quiete per equilibrio di sforzi. Beve sta che quel vapore manifesterà una costante tensione e densità, qualora

(a) Questa deduzione appar meglio evidente, ove si richiami il fatto che anco i gas, a contatto d'un liquido, vengono accolti e condensati entro di questo, benchè con varia misura, appunto secondo la varia loro densità relativa e la varia loro tensione, come meglio si dirà altrove. Ora a maggiore ragione dovranno per entro il liquido condensarsi i vapori, tanto più quando all'esterno abbian già raggiunto il massimo di loro densità.

non si mutino nè la temperatura nè l'ampiezza dello spazio. Ma ciò significa soltanto che allora in un dato tempo si staccano da quel liquido, proiettate all'infuori della sua superficie libera, tante nuove molecole vaporose, quante appunto saranno le molecole di vapore, diffuse prima nello spazio, le quali, venendo ad urtare contro tal superficie, in direzione ad essa normale, si convertiranno in liquido.

E codesto stato di cose potrà perdurare, cioè non muteranno nè la densità nè la tensione del vapore, in quanto che la somma delle forze vive perdute dal liquido per la proiezione delle molecole assumenti lo stato aeriforme, vale a dire, il calore da esso perduto per tale evaporazione, eguaglierà la somma delle forze vive guadagnate dal liquido, grazie alle molecole di vapore, le quali entrando a far parte del suo sistema molecolare, vi arrecano il loro moto, ossia il calore di elaterio, siccome avremo occasione di meglio schiarire più innanzi.

Pertanto, *ogni qual volta diciamo esservi equilibrio tra la forza evaporante d'un liquido e la tensione del vapore che lo tocca, dobbiamo ammettere un equabile e continuo ricambio di parti tra il liquido ed il vapore.*

Misura della tensione massima dei vapori.

§ 208. Per molti riguardi interessa di conoscere con esattezza la legge secondo la quale varia la tensione massima del vapore acqueo in relazione alle variazioni nella temperatura; od almeno di conoscere il valore della forza espansiva che spiega il vapor acqueo alla densità massima sotto differenti temperature. Molti fisici si occupano di quest'argomento, e diversi sono i processi sperimentali da essi seguiti per coteste determinazioni: però meritansi indubbiamente maggior confidenza quelli messi in opera da Magnus e da Regnault.

E molti fisici e matematici cercarono poi d'esprimere, per mezzo di formole algebriche, il rapporto sussistente fra le temperature e le forze espansive massime (le quali, per brevità di discorso, si denominano *tensioni massime*) del vapore acqueo.

August (1828), considerando che queste tensioni F del vapore crescono con una ragione un po' meno rapida di una semplice progressione geometrica, propose la formola:

$$(144) \quad F = a m^{\frac{t}{t+c}},$$

ove a , m , c sono costanti da determinare, e t la temperatura data.

Biot (1839) immaginò di applicare la forma esponenziale al logaritmo della forza espansiva del vapore, invece di applicarla direttamente alla forza espansiva medesima, come aveva fatto dapprima. Quindi avrebbero:

$$(145) \quad \log F = a + mb^t + nc^t, \text{ ossia } F = e^{a+mb^t+nc^t},$$

posta e la base del sistema logaritmico che vuolsi usare, ed essendo a, b, c, m, n cinque costanti, da determinarsi con cinque osservazioni ad eguali intervalli di temperatura.

Questa forma di funzione, appunto perchè contiene cinque costanti da determinare, può rappresentare con molta esattezza i vari dati d'una serie di osservazioni. Però essa non si presta facilmente, come altre, ad esser rovesciata, per esprimere invece la temperatura in funzione della forza espansiva.

Magnus esegui con ogni diligenza molte esperienze su la tensione del vapore acqueo a diverse temperature da $-6^{\circ},61$ a $+104^{\circ},68$. Adottando poi la formola di August, e determinandone le costanti per mezzo delle proprie osservazioni, trovò:

$$(146) \quad F = 1,525 \cdot 10^{\frac{7,4475 t}{234,69 + t}},$$

ove le temperature t sono contate da 0° , e le forze espansive del vapore sono espresse in millimetri di mercurio.

§ 209. Come riflette Regnault, ad ottenere dati numerici attendibili nelle questioni fisiche, giova adoperare per quanto è possibile sicuri metodi differenti per averli, ed i dati stessi riesciranno tanto più quanto maggiore sarà l'accordo de' risultati avuti seguendo diverse vie, tenuto conto però delle diverse fonti d'errore che ponno intervenire ne' singoli casi. Impertanto egli mise in opera molti e svariati metodi, all'uopo di determinare le tensioni del vapore acqueo sotto differenti temperature; alcuni di essi valgono per le temperature basse, altri per le più elevate, e con ciaschedun metodo esegui molte serie di osservazioni, ciascuna delle quali comprende trenta e più osservazioni.

Per le temperature inferiori allo 0° si valse d'un apparecchio analogo a quello di Gay-Lussac, il quale adoperò due canne torricelliane, l'una normale, e l'altra più lunga ed avente in alto una ripiegatura, il cui estremo penetra in un vaso contenente una miscela frigorifera. In questa canna, essendosi fatte penetrare alquante gocce d'acqua distillata e privata d'aria, il vapore da essa prodotto per il principio accennato sopra (§ 206), vien man mano condensandosi,

liquefacendosi e poi solidandosi nella parte più fredda dello spazio torricelliano, sino a che tutta l'acqua introdotta siasi quivi raccolta in forma di ghiaccio, il quale tuttavia non lascia di emettere vapori, che si spandono in tutto lo spazio colla tensione competente alla temperatura più bassa (quella che la miscela comunica all'e-

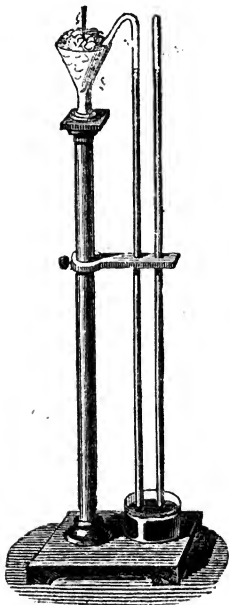


Fig. 155.

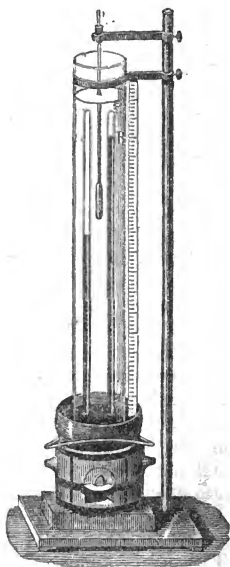


Fig. 156.

stremo immerso della canna di vetro), e codesta tensione è misurata dalla differenza in altezza delle colonne di mercurio nelle due canne.

Quanto alla misura della tensione massima del vapore acqueo per temperature comprese fra 0° e 50° , Regnault mise da prima in opera un apparecchio analogo a quello usato da Dulong. Consisteva questo in due canne torricelliane (una normale e l'altra con uno straterello d'acqua stillata e priva d'aria), pescanti inferiormente nel mercurio contenuto in un vaso di ferro (Fig. 156) e nel resto circondate da acqua, rattenuta da un gran tubo di vetro, aperto

agli estremi: scaldando per disotto il bagno di mercurio, si fa elevare la temperatura dell'acqua involgente, che occorre di continuo rimestare, sino a quel grado che vuolsi, e la tensione massima del vapore rispondente a quella temperatura sarà pur data dalla differenza di livello del mercurio nelle due canne.

Regnault, rilevate le varie fonti di errore inerenti a questo processo, lo modificò così che la parte superiore delle due canne (per

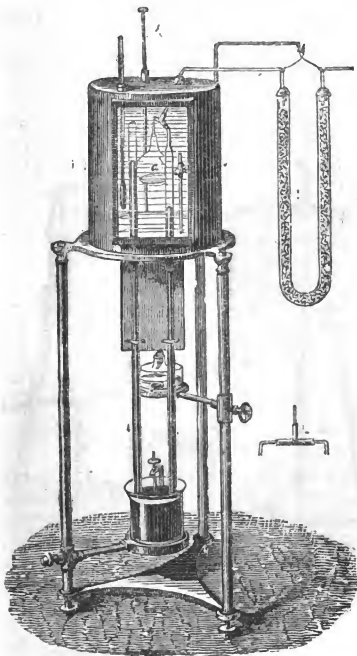


Fig. 157.

circa tre decimetri oltre la camera torricelliana) penetra in una cassetta cubica di lamiera, munita di finestrella con lastra piana di vetro, in due delle opposte pareti verticali di essa, si dà poter osservare con minori errori di refrazione la differenza di livello delle

due colonne di mercurio nelle canne. L'acqua, ond' è piena la cassetta, viene di continuo rimestata da un agitatore, mentre che vien raffreddata con pezzetti di ghiaccio per le temperature inferiori a quella dell'ambiente, oppure per le temperature superiori vien gradatamente scaldata con una lampada ad alcole, posta a varia distanza dal fondo della cassetta.

Per le temperature superiori a 50° , Regnault usò un apparecchio opportuno a valutare con precisione la forza espansiva del vapore acqueo. In una robusta caldaiuola, chiusa con valvola, sta l'acqua che si scalda con apposito fornello, e vi penetrano quattro termo-

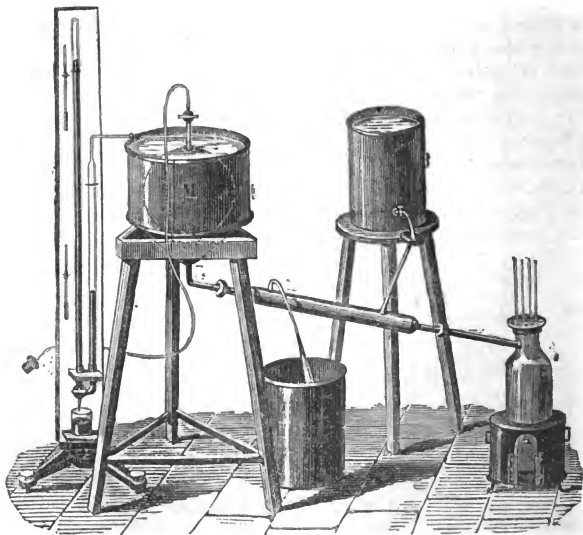


Fig. 158.

metri, custoditi da tubi di ferro, i serbatoi di due de' quali pescano nell'acqua, mentre gli altri due hanno la temperatura del vapore che sta al disopra del liquido. La parte superiore della caldaiuola, per mezzo di un robusto cannello inclinato, comunica con un capace pallone di rame, contenuto in vaso con acqua fredda. Il pallone è munito superiormente d'una tubulatura che si bipartisce; un ramo va

a comunicare per un tubo in piombo con una macchina da rarefazione o da condensazione d'aria, e l'altro ramo comunica con un manometro a due canne. Una corrente continua d'acqua è mantenuta in un largo tubo, che involge gran parte del cannello di comunicazione tra la caldaiuola ed il pallone, all'uopo che il vapore entro di esso abbia una temperatura sempre più bassa che nella pentola, epperò vi si condensì in gran parte, e rifluisca nella caldaia.

Posto che si voglia sperimentare fra 0° a 50° , si rarefa colla macchina pneumatica l'aria nel pallone e nella pentola, sino a che l'aria stessa si riduca ad una data forza espansiva indicata dal manometro; di poi si scalda l'acqua, finchè si rende stazionaria la temperatura de' termometri ed anco la forza espansiva data dal manometro: allora questa sarà anche la tensione massima del vapore corrispondente a quella temperatura. E così poi, lasciando rientrare l'aria a poco a poco nel pallone, si vien variando insieme e la temperatura del liquido evaporante e la tensione massima del vapore.

Per le temperature superiori a 100° , s'aumenta invece la pressione sul liquido, iniettando invece aria nel pallone con una tromba di compressione, e nel resto si procede come si disse poc'anzi.

§ 210. Mercè i numerosi dati per tali vie ottenuti, il Regnault costruì graficamente diverse curve, rappresentanti con mirabile accordo l'insieme delle sperienze. Coteste curve danno i seguenti risultati:

Temper.	Tensione.	Temper.	Tensione
— 32°	<i>mill.</i> 0,32	del term.	
— 20	0,91	ad aria	corresp.
— 16	1,29	100°	<i>mill.</i> 760,0
— 10	2,08	110	1073,7
0	4,60	120	1489,0
10	9,16	130	2029,0
20	17,39	140	2713,0
25	23,55	150	3572,0
30	31,55	160	4647,0
40	54,91	170	5960,0
50	91,98	180	7545,0
60	148,79	190	9428,0
70	233,09	200	11660,0
75	288,50	210	14308,0
80	354,64	220	17390,0
90	525,45	230	20915,0

Regnault preferisce la formola logaritmica a più esponenziali, suggerita da Biot (pag. 361). Però egli preparò diverse formole empiriche,

a limiti non molto estesi di temperatura, calcolando per ciascheduna le costanti coi dati delle curve grafiche.

Poscia cercò di esprimere con una formola unica tutte le sue osservazioni, stendentisi da -33° a $+232^{\circ}$, assumendo:

$$(147) \quad \log F = a - mb^t - nc^t,$$

dove le temperature siano contate da -20° , e dove le cinque costanti, calcolate dietro i dati delle curve grafiche rispondenti a -20° , $+40^{\circ}$, 100° , 160° e 220° , furono trovate rispettivamente:

$$a = 6,2640348; \log b = \overline{1},994049292; \log c = \overline{1},998343862;$$

$$\log m = 0,1397743 \text{ e } \log n = 0,6924351.$$

E con questa formola ottenne le tensioni corrispondenti alle singole temperature comprese tra 100° e 230° .

Regnault volle pur verificare, se una formola analoga a quella d'August (pag. 360) soddisfacesse a sufficienza all'insieme delle sue osservazioni. Posta la formola:

$$(148) \quad F = am \frac{t}{1 + ct},$$

contando per essa le temperature da -20° , e determinando le tre costanti coi dati delle curve grafiche rispondenti a 20° , $+100^{\circ}$ e 200° , trova:

$$\log a = \overline{1},9590414; c = 0,004788221; \log m = 0,03833818$$

$$\log \log m = \overline{2},5836315$$

Ora questa formola soddisfa meno esattamente della precedente (120) ai dati sperimentali: nondimeno le differenze sono poco sensibili.

È notevole l'accordo dei valori di Regnault con quelli che traggonsi dai dati di Magnus, mercè la formola retroesposta a pag. 272, e ciò specialmente nei limiti delle dirette osservazioni di quest'ultimo (da -6° a $+105^{\circ}$).

§ 211. Gioverà, per varie applicazioni, l'indicare, secondo i dati di Regnault, le tensioni del vapore acqueo, calcolate come nelle precedenti tabelle, ma espresse in atmosfere da mill. 760 di mercurio a 0° cadauna, in rapporto alle temperature date da un termometro ad aria.

Temp.	Tensione	Temp.	Tensione	Temp.	Tensione
0°	0,006	100	1,000	190	12,425
10	0,012	110	1,415	195	13,842
20	0,023	120	1,962	200	15,380
30	0,042	130	2,671	205	17,047
40	0,072	140	3,576	210	18,848
50	0,121	150	4,712	215	20,791
60	0,196	160	6,120	220	22,882
70	0,306	170	7,814	225	25,128
80	0,466	180	9,929	230	27,535
90	0,691	185	11,125		

E volendosi invece le temperature del termometro ad aria, corrispondenti a numeri interi di atmosfere, gli stessi dati di Regnault forniscono :

Atmosf. Temp.	Atmosf. Temp.	Atmosf. Temp.	Atmosf. Temp.
1 100°,0	8 170°,8	15 198°,8	22 217°,9
2 120,6	9 175,8	16 201,9	23 220,3
3 133,9	10 180,3	17 204,9	24 222,5
4 144,0	11 184,5	18 207,7	25 224,7
5 152,2	12 188,4	19 210,4	26 226,8
6 159,2	13 192,1	20 213,0	27 228,9
7 165,3	14 195,5	21 215,5	28 230,9

§ 212. Dalton, confrontando le forze espansive del vapor d'etere con quelle del vapor d'acqua, e scorgendo esser sensibilmente eguali le variazioni nelle tensioni dei due vapori, corrispondenti ad incrementi o decrementi eguali alla temperatura, qualora si prenda per ciascuno, come punto di partenza, tale temperatura, per cui la tensione dell'uno eguagli quella dell'altro, credette di poter istabilire come una legge generale codesta corrispondenza fra le tensioni de' vapori dei diversi liquidi, partendo, ad esempio, dalla rispettiva loro temperatura d'ebollizione, per cui la forza espansiva dei vapori eguaglia la pressione di mill. 760 di mercurio a 0°. Ma le osservazioni più precise di Despretz, e quelle più svariate e rigorose di Regnault, provano che siffatta supposizione non è ammissibile, nemmeno come un dato di approssimazione.

Ecco alcuni valori dedotti dall'insieme delle numerose serie di sperimenti pubblicati dal Regnault:

Temperatura del vapore a densità massima.

Tensione in atmo- sfere	Mercurio	Acqua	Alcole	Clorofor.	Solf. carb.	Etere
1	357°,4	100°,0	78°,2	60°,2	46°,2	35°,0
2	397,3	120,6	96,8	82,6	69,2	55,9
3	423,0	133,9	108,8	97,5	84,5	69,6
4	442,5	144,0	118,0	109,0	96,2	89,2
5	458,3	152,2	125,5	118,6	105,9	89,0
6	471,8	159,2	131,9	126,8	114,2	96,5
7	483,7	165,3	137,6	134,1	121,6	103,1
8	494,3	170,8	142,6	140,7	128,2	109,0
9	505,1	175,8	147,3	146,7	134,3	114,4
10	513,9	180,3	151,5	152,3	140,0	119,4

Perciò la forza espansiva del vapore d'alcole cresce coll'aumentare della temperatura più rapidamente che nol faccia quella del vapor acqueo; e per converso la tensione di quest'ultimo aumenta con una ragione più rapida di quella che si verifica per i vapori di etere, di solfuro di carbonio, di cloroformio, e segnatamente per il vapore di terebuteno, per il quale si osserva un incremento lentissimo. E nel vapore d'etere e di solfuro di carbonio cotesto aumento è più rapido che nel vapore di cloroformio. Pertanto, a voler ordinare gli anzidetti liquidi con riguardo al più rapido aumentare della tensione dei loro vapori col crescere della temperatura, si avrebbe la seguente serie, nella quale questa proprietà va decrescendo dal primo all'ultimo: alcole, acqua, etere, solfuro di carbonio, benzina, cloroformio, terebuteno e mercurio.

In queste prove per le tensioni minori d'un'atmosfera, Regnault seguí il metodo diretto di misurare le forze espansive dei vapori nel vuoto; mentre alle temperature elevate seguí l'altro metodo di misurare la temperatura d'ebollizione del liquido sotto un'atmosfera artificiale. Questi due metodi, che già col vapor acqueo egli aveva trovati in pieno accordo, gli diedero anche coi summenzionati vapori curve affatto coincidenti, purché i liquidi producenti i vapori fossero in istato di perfetta purezza. Ma non appena un liquido contenga una quantità, pur tenuissima, d'altra sostanza vaporabile, i due metodi danno valori differenti per la tensione del vapore sotto una medesima temperatura. Osserva anzi Regnault, che cotesti confronti porgono un mezzo estremamente sensibile per giudicare della omogeneità o meno d'una data sostanza vaporabile.

Miscele di vapori e gas.

§ 213. Fin qui abbiamo supposto che i vapori si diffondessero alla densità massima in uno spazio limitato e vuoto. Quando invece si diffondono entro un gas chiuso in limitato spazio, il fanno con molta lentezza; ma, raggiunta che abbiano la rispettiva densità massima, trovandosi in contatto col liquido che li produce, spiegano, secondo che avvertì Dalton (1802), una forza espansiva eguale a quella che mostrerebbero in uno spazio vuoto avente la stessa temperatura. Laonde i vapori, mescolandosi coi gas, si comportano a guisa dei gas i quali non esercitino azione chimica tra loro, e siano tra loro comunicanti; onde è che la forza espansiva della mescolanza eguaglierà la somma delle forze espansive del gas e del vapore mescolati, ove però riducasi il gas al suo primo volume.

Gay-Lussac, il quale immaginò un comodo apparecchio per sottoporre a prova queste asserzioni di Dalton, venne a darvi l'appoggio della propria autorità. Un palloncino di vetro, di capacità maggiore d'un litro, munito di chiave, può adattarsi ad un manometro a due tubulature, simile a quello descritto a pag. 179. Dapprincipio, essendosi empito il pallone d'aria ben secca ed il tubo manometrico (A) di mercurio secco, si apre la chiave sicché comunichino tra loro. Allora, mercé la chiave inferiore a T del manometro, lasciando effluire mercurio dallo stesso tubo, s'empie circa la metà del vano di questo d'aria presa dal pallone; indi, chiusa la chiave del pallone e la chiave superiore (b) del tubo manometrico, si stabilisce, operando colla chiave inferiore (d), libera comunicazione fra i due rami del manometro, e si misura il volume V dell'aria passata nel tubo quando siasi ridotto allo stesso livello il mercurio ne' due tubi, versandone alcun po' nel tubo aperto oppur lasciandone escire dalla chiave di fondo. Allora la tensione dell'aria rinchiusa eguaglierà la pressione b dell'aria esterna, data dal barometro. Si toglie il palloncino e si so-

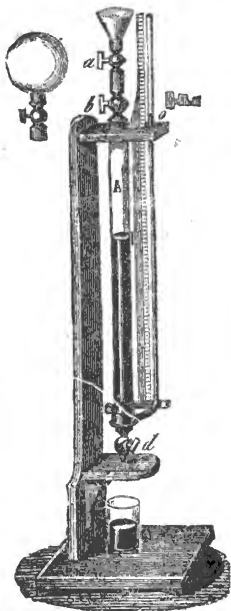


Fig. 159.

stituisce ad esso una tubulatura ad imbuto munita di una chiave di forma particolare (a), la quale permette di passare alcune gocce di liquido, versato nell'imbuto, nel vano della tubulatura compreso tra le due chiavi; aprendo allora la seconda di queste chiavi (b), tali gocce liquide passano nel tubo manometrico e vi si evaporano, aumentando la tensione nell'aria preesistente. Da ultimo, versando altro mercurio nel tubo aperto, così da ridurre la miscela di aria e vapore ad occupare lo stesso volume V, si misura in tal condizione la differenza f di livello del mercurio nei due tubi, che rappresenta l'aumento di tensione nella miscela dovuta alla presenza del vapore, e che sommata colla pressione atmosferica b , supposta costante, dà la tensione totale della miscela. Ora appunto la tensione f risulterà, assai prossimamente, eguale a quella che il vapore stesso manifesterà nel vuoto torricelliano, quando l'ambiente avesse la medesima temperatura nei due casi.

Ma Regnault (1846 e 1850), richiamando a scrupoloso esame quest'argomento, trovò che le tensioni del vapor acqueo nell'aria sono sempre un tal poco minori di quelle avute nel vuoto. Nondimeno, si nell'aria che nell'azoto, le differenze sono tanto piccole da potersi ritenere, nelle ordinarie sperienze, come nulle, mai non giungendo ad un millimetro.

Sperimentando però coi vapori di etere, di solfuro di carbonio e di benzina, trovò che anco per essi le tensioni nell'aria riescono sempre minori che nel vuoto; e le differenze crescono per ciascun vapore, coll'aumentare della temperatura, e nei diversi vapori sono tanto maggiori quanto è maggiore la forza evaporante dei corrispondenti liquidi.

Tentò di poi un altro processo, che gli concedeva di far variare il volume della miscela, mantenendola a temperatura costante, e di rilevare il preciso istante in cui il vapore incomincia a condensarsi su le pareti del recipiente. Per tal modo, sperimentando sul vapore d'etere, osservò che lorquando questo incomincia a condensarsi sul recipiente ha sempre una tensione minore di quella che avrebbe nel vuoto; che però continuando a comprimere il gas, mentre si rende più copioso il liquido depositantesi sulle pareti, cresce anco la tensione del vapore, avvicinandosi ognor più a quella osservata nel vuoto, sino a divenirne eguale, quando siasi formato un grosso strato di liquido. Ma quest'eguaglianza la si riscontra soltanto ove si osservi tosto dopo che s'è diminuito il volume del gas, poichè la tensione torna di poi a scemare, ed il decremento continua per alcune ore, benchè la temperatura rimanga precisamente costante. Dalle quali osservazioni Regnault trasse una plausibile spiegazione dei fatti stessi (a).

(a) Ora richiamando le cose dette sopra (§ 207) su la incessante svaporazione

§ 214. Come conseguenza dell'accennata legge di Dalton e di Gay-Lussac si ammetteva che per una miscela di diversi liquidi vaporabili, ma non esercitanti tra loro niuna azion chimica, la forza espansiva totale dei loro vapori diffusi in uno spazio limitato, per raggiungere la densità massima eguagliar dovesse la somma delle tensioni massime che ciascun vapore spiegherebbe da solo nel vuoto e sotto la medesima temperatura.

Onde verificare questo dato, Regnault scelse liquidi che non si combinano chimicamente colla semplice mescolanza, ripartendoli però in tre classi, come segue: 1.^a miscele binarie di liquidi che non si disciolgono l'uno nell'altro, se non in quantità tenuissima; 2.^a miscele di due liquidi che si dissolvono in proporzioni sensibili, per modo però che, dopo la loro reciproca saturazione, rimangono separate le parti residue dei due liquidi; 3.^a miscele binarie di liquidi dissolventisi mutuamente in qualsiasi proporzione, sicchè dan luogo ad una mischianza uniforme.

1.^a *Classe*. Tre sole miscele pertinenti a questa classe potè sottoporre a prova, cioè acqua e benzina, acqua e solfuro di carbonio, ed acqua e cloruro di carbonio. Per esse la legge di Dalton riesci verificata con molta approssimazione.

2.^a *Classe*. Sperimentando su una miscela di acqua e di etere, trovò che la tensione dei vapori della miscela, lungi dal corrispondere alla somma delle tensioni dei vapori dei due liquidi isolati, eguaglia invece, con singolare approssimazione, la tensione della sostanza più vaporabile.

3.^a *Classe*. Mettendo a prova tre miscele, in proporzioni diverse,

dei liquidi e su la pur incessante condensazione dei vapori al massimo di densità in contatto delle superficie di ben maggiore densità (siano poi liquide o solide), questi fatti ricevono facile spiegazione, e valgono anzi a conferma di quei principj. Le pareti del vaso, o per gravitazione molecolare o per affinità spiegata sul vapore che, vibrando (§ 122), viene a toccarle, lo faranno condensare su di esse sino a formare un velo liquido la cui evaporazione potrà compensare la contemporanea condensazione di altro vapore, rallentate essendo però l'una e l'altra dalla presenza del gas. Ora, dove la parete è verticale o pressochè tale, il velo medesimo non potrà aumentare molto in grossezza, poichè la gravità opera sul liquido stesso per farlo scorrere all'ingiu'. Pertanto, se questo velo non ha bastevole grossezza per elidere l'azione attrattiva della parete sul vapore, la tensione del vapore diffuso nello spazio sarà minore di quella corrispondente al massimo nel vuoto. Quindi la legge di Dalton su le mischianze dei vapori coi gas, verificherebbesi probabilmente con esattezza sol quando fosse dato rinchiudere il gas in un vaso le cui pareti fossero formate collo stesso liquido vaporabile, avente una congrua grossezza. Però negli apparati fisici questa legge è imperfettamente soddisfatta, ben di rado realizzandosi la richiesta condizione.

di solfuro di carbonio e di etere, ebbe dai loro vapori una forza espansiva, in generale, minore ancora di quella competente alla sostanza più vaporabile presa da sola, e la differenza è tanto maggiore quant'è più grande la proporzione del liquido meno vaporabile. Con due diverse miscele di solfuro di carbonio e di cloruro di carbonio ottenne analoghi risultati, le tensioni dei vapori della miscela essendo minori di quelle del liquido più vaporabile, ed intermedie alle tensioni dei due liquidi. Però con una mischianza di benzina e d'alcole riscontrò una tensione maggiore di quella del liquido più vaporabile, benché fosse minore della somma delle tensioni dei due vapori isolati.

Volle inoltre Regnault investigare se lo stato d'aggregazione molecolare, piuttosto solido che liquido, d'una sostanza influisca su la forza espansiva dei vapori che essa emette ad una data temperatura nel vuoto. Già egli aveva notato che la curva esprime la tensione del vapore emesso dal ghiaccio a temperature comprese tra -32° e 0° presenta una perfetta continuità con quella rispondente alla tensione dei vapori d'acqua alle temperature superiori a 0° . Ora, sperimentando coll'idrocarburo di bromo e colla benzina, liquidi vaporabili e solidificantisi a temperature non molto basse, ottenne lo stesso risultato. Quindi le forze molecolari determinatrici della solidificazione d'una sostanza non esercitano influenza sensibile su la tensione massima del di lei vapore nel vuoto.

I vapori che sorgono dalle soluzioni saline ed acide presentano forze espansive tanto minori quant'è maggiore la loro concentrazione. Gay-Lussac, prendendo per termine di confronto la tensione del vapore acqueo, ed essendo tutti i liquidi ed i vapori confrontati a 10° , trovò i seguenti valori :

	Dens.	Tens.		Dens.	Tens.
Acqua pura	1,000	100,0	Soluz. di clor. sod.	1,163	82,3
Soluz. di acido solf.	1,493	18,1	» id.	1,205	75,9
» id.	1,541	12,2	» clor. calcico	1,274	66,0
» id.	1,702	2,4	» id.	1,343	50,5
» id.	1,848	0,0	» id.	1,397	37,6
» di clor. sod.	1,096	90,5			

Densità relativa dei vapori.

§ 215. Analogamente alla definizione del peso specifico dei gas, data al § 121, per densità relativa d'un vapore s'intende il rapporto sussistente fra il peso di un dato volume del medesimo alla densità massima ed il peso di un egual volume d'aria secca, presa alle medesime condizioni di temperatura e di forza espansiva.

Con ciò si ammette che i vapori, col variare delle pressioni, seguano la legge Boyle, ed abbiano, a qualsiasi temperatura, lo stesso coefficiente di dilatazione dell'aria. La densità d di un vapore vien quindi calcolata mercè la formola:

$$(149) \quad d = \frac{p}{p' v} \cdot \frac{1 + \delta t}{1 + \delta' t} \cdot \frac{760}{f}$$

dove p è il peso in grammi del vapore che alla temperatura t ed alla forza espansiva f , espressa in millimetri, riempie un vaso, la cui capacità a 0° , espressa in centimetri cubi, sia v ; p' è il peso, pure in grammi, di un centimetro cubo di aria secca a 0° ed alla pressione di mill. 760; δ e δ' i coefficienti di dilatazione cubica dell'aria secca e della materia onde è formato il recipiente.

Ponendo quindi: $p' = \text{gr. } 0,001293$; $\delta = 0,003665$, e $\delta' = 0,0000276$, ritenuto che il recipiente sia in vetro ordinario (§ 168), la precedente diventa:

$$d = \frac{p}{v f} \cdot \frac{1 + 0,003665 t}{1 + 0,0000276 t} \cdot \frac{760}{0,001293}.$$

Però a determinar d si ponno seguire due metodi. O si misura qual sia il volume occupato, sotto data temperatura e pressione, dal vapore prodotto da un conosciuto peso di liquido vaporizzato; ovvero si determina qual sia il peso del vapore che riempie, da solo, una capacità di conosciuto volume. Il primo processo, usato da Gay-Lussac, può adoperarsi soltanto ne' casi in cui la temperatura sia inferiore a 150° ; mentre il secondo, messo in opera da Dumas, può usarsi a qualsiasi temperatura, purché questa non sia di tanto elevata, da sformare od alterare il recipiente.

L'apparato di Gay-Lussac è costituito da una campanella graduata capace di oltre un litro ed alta parecchi decimetri; riempita di mercurio ben secco, è capovolta cosicchè rimanga piena, pesando colla sua apertura nel mercurio contenuto sul fondo di una pentola di ghisa. Un opportuno tubo di vetro involge la campanella e le mantiene all'intorno acqua od altro liquido che possa scaldarsi a più alta temperatura. Nella campanella si fa

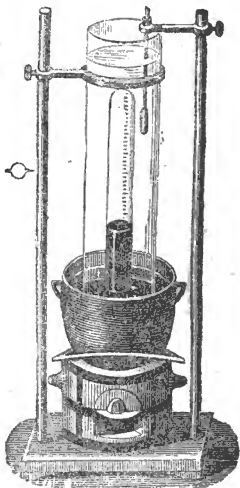


Fig. 160.

giungere avvedutamente una sottil bolla di vetro, piena del liquido del cui vapore vuolsi determinare la densità, poichè la bolla si spezza da sè e per la dilatazione del liquido e per la sua forza evaporante. Quando il liquido sia tutto vaporizzato, si rileva il volume del vapore formatosi in riguardo alla porzione della campanella da esso investita, e la forza espansiva del medesimo, tenuto conto della pressione barometrica esterna e della altezza del mercurio nella campanella al disopra dell'esteriore livello. Conoscendosi il peso del liquido contenuto nel globettino di vetro e la sua densità, se ne avrà il volume, e rilevando anche la temperatura del vapore rinchiuso, si avranno tutti gli elementi per valutare la densità relativa del vapore.

Dumas invece si valse di un palloncino capace di oltre mezzo litro con sottil collo affilato all'estremo, ed il cui peso è bene determi-



Fig. 161.

nato. Introdotto in esso il liquido da vaporizzarsi, si fa sommergere e si tien sommerso il palloncino, all'infuori dell'estremo del collo, entro un bagno di olio, o di lega metallica di facile fusione, che si eleva gradatamente ad una temperatura superiore a quella di ebollizione del liquido stesso; allora il liquido, vaporizzandosi, scaccerà anche l'aria contenuta nel pallone, e quando scorgesi cessato il getto di vapore dal beccuccio, si fonde la estremità di questo, così da suggellarlo ermeticamente, notando la temperatura del bagno. Pesando nuovamente il pallone, di tal guisa pieno di solo vapore, s'avrà la densità di questo dal confronto col peso precedente quando vi si conteneva aria atmosferica. Rompendo poi la punta del beccuccio tuffato nel mercurio, questo si spinge, per l'esterna pressione, nel

palloncino fino a riempirne la capacità, la quale resta determinata dal peso o dal volume del mercurio penetrato.

Quando poi si conosca d , l'esposte formole danno il volume in centimetri cubi che presenterà un dato peso p di vapore alla densità di saturazione sotto la temperatura t e la forza espansiva f ; ovvero danno il peso p del vapore che nelle stesse condizioni occuperà un dato volume apparente v , ossia quella capacità che a 0° è v , ma che alla temperatura t sarà in fatto $v(1 + \delta t)$.

Gay-Lussac trovò per il vapor acqueo a 100° la densità $d = 0,62287$,

valore molto approssimato alla densità 0,62207, che si deduce dalla legge di combinazione per volumi dei gas, ponendo che due volumi d'idrogeno, unendosi ad un volume d'ossigeno, diano nelle stesse condizioni di temperatura e di pressione, due volumi di vapor acqueo: onde si ha:

$$d = \frac{1}{2} \cdot (0,0692 \times 2 + 1,10563) = 0,62207.$$

§ 216. Ma altri fisici, operando però a temperature differenti, ottennero valori sensibilmente tra loro diversi. Quindi era da credere che in fatto i vapori, massime lorquando fossero in condizioni di prossima liquefazione, si scostassero facilmente e dalla legge di Boyle e da quella della uniforme dilatabilità (§§ 116 e 176).

Onde decidere questa importante quistione per rispetto al vapore acqueo, Regnault istituì parecchie serie di osservazioni. Dapprima determinò la densità del vapor acqueo nel vuoto alla temperatura di 100°, ma sotto pressioni sempre più deboli, onde rilevare se il vapore segue allora la legge di Boyle, ed adoperando due diversi metodi, venne a conchiudere che la densità del vapor acqueo nel vuoto e sotto deboli pressioni può calcolarsi secondo la legge anzi detta, purché la frazione di saturazione (cioè il rapporto tra la forza espansiva osservata e la tensione massima dello stesso vapore data dalle tavole) non superi 0,8. Però la densità stessa rendesi poi sensibilmente tanto più elevata quanto più il vapore riesce vicino alla tensione massima: e ciò, probabilmente, a cagione di una parziale condensazione del vapore stesso in prossimità delle pareti del recipiente.

In seguito determinò la densità del vapore acqueo a saturazione nell'aria, facendo uso del processo chimico di Brunner, e della formola:

$$(150) \quad p = v \frac{1 + \delta' t}{1 + \delta t} \cdot \frac{b - f'}{b - f} \cdot \frac{d p' f}{760},$$

ove p è il peso del vapor acqueo contenuto in una massa d'aria, che per mezzo di un vaso aspiratore è obbligata ad attraversare due tubi assorbenti il vapore; v la capacità a 0° del vaso aspiratore che, vuotandosi di acqua, si riempie d'aria; δ' il coefficiente di dilatazione cubica della materia costituente il vaso, il quale, ove sia di latta, darà $\delta' = 0,0000336$; $\delta = 0,003665$ il coefficiente di dilatazione dell'aria; $p' = 0,001293$ il peso in grammi di un centimetro cubo d'aria secca a 0° ed alla pressione d'un'atmosfera; d la densità del vapor acqueo; t' la temperatura dell'aspiratore al finire della sperienza; f' la corrispondente tensione del vapore a saturazione; f la tensione massima del vapore corrispondente alla media temperatura dell'aria durante l'esperienza, e b l'altezza barometrica al fine dell'esperienza ridotta a 0° (vedi fig. 152).

Perciò egli preferì di calcolare col mezzo di questa formola il peso p del vapore che deve trovarsi nell'aria, supponendo la densità teorica $d = 0,622$, per poi confrontarlo col peso fornito dalla spe-

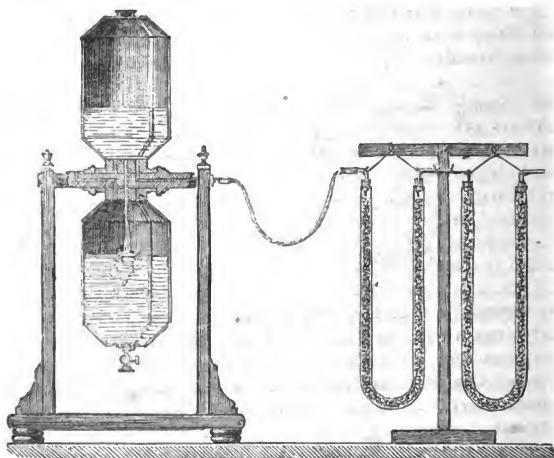


Fig. 162.

rienza. Così trovò che, assumendo per base le tensioni del vapor acqueo nel vuoto, e ritenendo la densità del vapore 0,622, si potrà con sufficiente approssimazione calcolare il peso del vapor acqueo contenuto in un dato volume d'aria, od in una data capacità vuota.

In base alle formole citate a pag. 373 è poi dato valutare le densità d' del vapor acqueo, riferite a quelle dell'acqua, ed il volume v' in centimetri cubi che presenterà, colle tensioni massime f corrispondenti alle diverse temperature t , il vapore prodotto da un grammo di acqua, posto $d = 0,622$: per cui esse riduconsi a:

$$d' = \frac{0,00001058218 f}{1 + 0,003665 t} \text{ e } v' = 944984,64 \frac{1 + 0,003665 t}{f}.$$

Eccone alcuni valori, calcolati coi dati di Regnault:

Temper.	Densità	Volume	Temper.	Densità	Volume
— 0°	0,000004867	245472,0	140°	0,001901	526,2
— 50	0,000082244	12158,9	180	0,004812	207,9
— 100	0,00058843	1699,5	220	0,009730	102,8

Però dirette sperienze di Fairbairn e Tate (1860) diedero per le densità relative massime del vapor acqueo valori sensibilmente maggiori de' predetti, e crescenti colle temperature. Eccone alcuni confronti, ne' quali viene espresso in decimetri cubi il volume di un grammo d'acqua trovato coll'esperienza, con quello calcolato colle precedenti formole.

Temp.	Volume		Densità relat.	Temp.	Volume		Densità relat.
	Calcol.	Sperim.			Calcol.	Sperim.	
58°21	8,38	8,27	0,630	124°17	0,809	0,758	0,662
79,49	3,52	3,43	0,638	131,78	0,654	0,604	0,673
92,66	2,18	2,15	0,642	139,21	0,537	0,496	0,673
117,17	0,991	0,941	0,655	144,74	0,466	0,432	0,671

Evaporazione dei liquidi.

§ 217. Quando la superficie libera d'un liquido vaporabile trovasi in contatto con un gas di illimitata estensione, com'è l'atmosfera, si spiccano da essa, in modo lento ma continuo, dei vapori: epperò la massa del liquido stesso subirà continue diminuzioni. Anzi a denotare questo ovvio fenomeno è comunemente riservato il vocabolo *evaporazione*.

La rapidità della evaporazione di un liquido, misurata dalla diminuzione di peso che in esso si verifica in un dato tempo, è però dipendente da parecchie circostanze. A circostanze nel resto pari, l'evaporazione si mostra proporzionale alla estensione della superficie libera del liquido, finchè però le estensioni poste a confronto siano piccole; mentre se queste sono un po' grandi, l'evaporazione cresce con una ragione meno rapida degli aumenti nella superficie. Cresce poi l'evaporazione, e molto rapidamente, coll'elevare la temperatura nello strato liquido superficiale, appunto come la sua forza evaporante, la quale cresce collo stesso rapporto degli incrementi nella forza espansiva del vapore.

Su questo argomento Stefan fece due importanti osservazioni. Ponendo a svaporare una data superficie d'un liquido a costante temperatura con atmosfere continuamente rimutantisì, ora d'idrogeno ed ora di ossigeno, trovò che colla prima l'evaporazione era 4 volte maggiore che colla seconda, appunto nella ragione delle rispettive velocità molecolari di que' due gas (§ 122). E, determinando le quantità di liquido evaporato verso un'atmosfera illimitata, stando in un tubo colla sua superficie a diverse profondità dalla apertura di questo, trovò che in tempi eguali e ad egual temperatura sono esse inversamente proporzionali alle profondità stesse della superficie evaporante.

Il prof. Frisiani osservò che in vasi di diversa figura, ma aventi sezioni d'egual area, l'evaporazione cresce coll'aumentare del perimetro della sezione del vaso stesso.

Ma quando nel gas sovraincumbente al liquido svaporante già sussiste diffusa una certa quantità di vapore del medesimo liquido, l'evaporazione appare proporzionale all'eccesso della forza evaporante del liquido (cioè della tensione massima che presenta il vapore alla temperatura del liquido) su la forza espansiva che spiega da solo il vapore già diffuso nel gas. Ed anche la densità del gas ambiente influisce sulla celerità dell'evaporazione, essendo questa, per un dato gas, tanto più pronta quant'è minore la pressione.

Codesti fatti tornano tutti a singolar conferma del sovra ideato stato di cose (§ 207).

Ed in particolare lo manifesta il fatto che l'evaporazione, in un dato tempo e ad una data temperatura, di un liquido la cui superficie libera, di determinata estensione, trovisi a contatto d'uno spazio illimitato, dove stia una miscela d'aria e di vapore del liquido stesso, risulti tanto minore quant'è maggiore la proporzione di tal vapore già diffuso in quello spazio, quand'anco la pressione totale resti immutata. Poichè con ciò crescerà la quantità delle molecole di vapore che andranno ad urtare contro la superficie del liquido ed a fissarvisi, mentre rimarrà costante la somma delle molecole che dalla superficie stessa si proiettano all'infuori nel medesimo tempo.

Ed è appunto sotto questo aspetto della suscettività o meno al mutare di stato fisico delle molecole d'un fluido aeriforme, le quali vanno a percuotere la superficie libera d'un liquido, che corre una differenza notevole tra la pressione d'un gas e quella d'un vapore per il riguardo dell'evaporazione del liquido stesso.

Hanno pur influenza su l'evaporazione la natura dei vasi, l'altezza dello strato liquido evaporante e le materie meccanicamente sospese in questo (a).

I diversi liquidi, in eguali circostanze, presentano una vaporabilità proporzionale alle tensioni massime dei loro vapori sotto una stessa temperatura; epperò si ha la serie: etere, solfuro di carbonio, cloroformio, benzina, alcoole, acqua, soluzioni saline, tereben-

(a) Marcet osservò che in un vaso di porcellana l'evaporazione è maggiore, a parità dell'altre condizioni, che in vasi di stagno e di vetro, tanto per l'acqua che per l'alcoole. Con questi liquidi verificò pure che in due vasi d'egual natura l'evaporazione era più copiosa dove fosse maggiore l'altezza del liquido nel vaso, pur ad eguale estensione della superficie svaporante. Quando nel fondo del vaso siavi sabbia od altra materia polverulenta, s'aumenta la svaporazione pel liquido, e si rende anco più manifesta allora l'influenza anzidetta della varia altezza del liquido nel vaso.

teno, petrolio, olii fissi, acido solforico, mercurio. Può anche dirsi che la evaporabilità nei diversi liquidi è, in generale, tanto maggiore quanto più bassa è la loro temperatura d'ebollizione.

Parecchi solidi evaporano, pur senza liquefarsi, come la canfora, l'iodio, l'arsenico, l'acido benzoico, il ghiaccio, ecc. Il ghiaccio, mantenuto anco a temperature molto inferiori a 0°, per isvaporazione va scemando sensibilmente di peso.

L'evaporazione, e tanto più quant'è più rapida, va sempre accompagnata da raffreddamento, come si dirà avanti, parlando delle calorie di vaporizzazione dei liquidi.

Ebollizione dei liquidi.

§ 218. Quando si scalda gradatamente un liquido a temperature ognor più elevate, si giunge ad una temperatura che non è possibile di oltrepassare, per quanto attiva sia la sorgente calorifica, svolgendosi copiosi vapori da tutte le parti della sua massa: allora si dice un tal liquido essere in *ebollizione*. In tal punto la tensione del vapore prodotto eguaglia la pressione esercitata sul liquido dal gas ambiente. Quindi se questa pressione si terrà costante, costante sarà pure la temperatura d'ebollizione del liquido stesso.

Sotto la pressione di un'atmosfera, cioè di mill. 760 di mercurio a 0°, l'acqua bolle a 100°: anzi è per questa temperatura che vien fissato il punto fondamentale superiore della graduazione termometrica.

Però, ove la pressione sia minore o maggiore dell'anzidetta, la temperatura d'ebollizione dell'acqua sarà minore o maggiore di 100°: ma in ogni caso corrisponderà a quella temperatura per cui il vapore acqueo presenta una tensione eguale alla pressione esercitata su la superficie del liquido dal gas ambiente; essendochè in ogni caso la forza evaporante del liquido eguaglia la tensione del vapore che si forma (§ 209).

§ 219. La temperatura di ebollizione dell'acqua pura può variare per alcune altre circostanze, come a dire: la presenza o meno dell'aria od altri gas condensati nell'acqua; la natura del vaso; l'introduzione nel liquido di solidi scabri o porosi, benchè non esercitino azione chimica su di essa; la vivacità della fonte calorifica; l'ampiezza dell'apertura del vaso, ecc. Deluc (1784), Bellani (1809), Gay-Lussac (1812) ed altri studiarono diligentemente queste diverse influenze.

Scaldando dell'acqua entro vaso di vetro, si osserva che, a temperatura alcun po' elevata su quella che essa risentiva dapprima, si formano, e di preferenza presso le scabrosità del fondo e delle pa-

reti, alcune bollicine d'aria, le quali gradatamente crescono di numero e di volume, sino a svolgersi dal liquido. Indi, verso i 75° s'ingenerano sul fondo (e qui pure di preferenza dove siavi qualche asprezza) minute bolle di vapore, che alzatesi di poco entro il li-

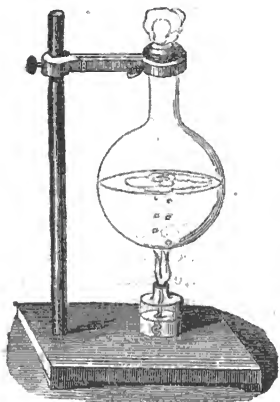


Fig. 163.

quido meno caldo, e condensatesi di nuovo, vi provocano una specie di fremito, il quale va sempre più rinforzandosi, finchè incomincia la vera ebollizione, svolgendosi il vapore da tutte le parti della massa, ma ancora segnatamente nelle parti superficiali di essa e dove presenta taluna soluzione di continuità. I gas ordinariamente disseminati nell'acqua, attenuando la coesione tra le molecole liquide, contribuiscono efficacemente a promuovere la vaporizzazione delle molecole stesse: epperò ov'essa sia stata preventivamente spogliata d'aria e se ne impedisca di poi il riassorbimento, l'acqua non bolla che ad una temperatura sensibilmente più elevata di quella rispondente alla pressione. Così Deluc, Bellani, e molto di poi Don-

ny (1846), sperimentando in diversi modi, poterono scaldar l'acqua rispettivamente a 121° , 119° e 135° .

Nei vasi di vetro, di porcellana e di majolica l'acqua incomincia a bollire solamente ad 1° , o poco più, oltre la temperatura per cui essa, a circostanze del resto pari, entra in ebollizione ne' vasi di metallo, e ciò probabilmente a motivo dell'essere maggiore l'adesione dell'acqua con quelle sostanze, che non coi metalli. Marcet (1841) giunse a scaldar l'acqua da 5° a 6° oltre il punto d'ebollizione entro un vaso di vetro, in cui dianzi aveva fatto bollire dell'acido solforico, benchè lo avesse ripetutamente lavato.

I fili metallici, la pomice, il carbone, le limature metalliche, il cotone, ecc., introdotti nell'acqua contenuta in vaso di vetro, vi facilitano la vaporizzazione, riducendola alla normale sua temperatura. E fu in vista di questo fatto che Gay-Lussac trovò di agevolare la distillazione dell'acido solforico nelle storte di vetro, per sè difficile e pericolosa, attesa la irregolare e sussultoria ebollizione del liquido, col mettervi entro alcuni sottili fili di platino.

Quando l'acqua bolle lentamente, in opera di fuoco appena bastevole a mantenerla in tal condizione, la sua temperatura può riescire

di circa un grado superiore a quella ch'essa assume quando l'ebollizione è rapida e tumultuosa per copioso afflusso di calore, come fu osservato da una commissione della Società reale di Londra (1777) e dal Bellani.

Ed è appunto per ovviare a queste diverse influenze perturbatrici, che, a determinare il punto fondamentale superiore della scala termometrica, vuolsi tenere il termometro immerso non già nella stessa acqua bollente, ma bensì nel vapore che sorge immediatamente da essa (§ 166). Imperocchè il vapore, nell'atto che si spicca dal liquido bollente, presentar deve esattamente quella temperatura per cui esso dispieghi una forza espansiva eguale alla pressione atmosferica. Si dovrà però procurare che il vapore stesso non si raffreddi di subito per irradiazione, trattendolo, innanzi che si sfoghi nell'aria, entro uno spazio a doppia parete metallica.

§ 220. Qualora poi l'acqua bolla in un vaso munito di coperchio, che intercluda in gran parte la comunicazione fra l'atmosfera esterna e l'interno del vaso, si osserva che fintanto che l'aria dell'apertura non sia minore di un millesimo della superficie dell'acqua in contatto colle pareti del vaso direttamente esposte alla fonte calorifica, l'acqua bolle alla normale temperatura, a quella cioè che corrisponde alla pressione. Ma qualora l'area dell'apertura si riduca relativamente minore, l'acqua bollirà a temperature alcun po' superiori alla predetta.

E se il vaso sarà perfettamente chiuso e le sue pareti saranno robuste a sufficienza, l'acqua non potrà bollire, ancorchè s'elevi la temperatura molt'oltre i 100°. Poichè mano mano s'aumenta la temperatura, e cresce quindi la forza evaporante del liquido, cresce anco, e di pari passo, la tensione massima del vapore che si addensa nella porzione superiore della capacità del vaso non investita dal liquido.

Di tal modo nella pentola di Papin e nelle caldaie delle macchine a vapore si può scaldare l'acqua ad elevate temperature, atte a fornir vapore avente tensioni più valide d'un'atmosfera. Converrà però si provveda, con una valvola, ad impedire l'esplosione del vaso per soverchia interna pressione (fig. 165).

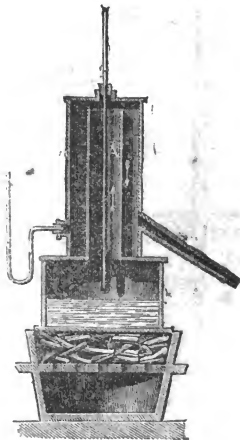


Fig. 164.

Analogamente, dove si possa artificialmente (colla macchina pneumatica od altro) andar rarefacendo l'aria sovrastante all'acqua contenuta in un vaso, potrà questa bollire a temperature molto minori di 100°.

In ogni caso si promuoverà l'ebollizione quando il gas sovrastante al liquido sarà così rarefatto da esercitare una pressione eguale alla tensione dispiegata dal vapor acqueo svolgentesi sulla superficie libera dell'acqua stessa, in correlazione alla di lei temperatura.

Dicasi altrettanto per gli altri liquidi.

§ 221. Mentre le sostanze che stanno meccanicamente nuotanti nell'acqua, come la fina sabbia o la polve di carbone, non modificano sensibilmente la temperatura d'ebollizione dell'acqua, le sostanze che in essa si sciolgono, producendo vere soluzioni, tendono, in generale, a renderla più elevata, forse perchè aumentano la coesione nel liquido.

Così l'acqua che non sia stata purificata colla distillazione, l'acqua delle fonti, contenendo sempre alcune tenui quantità di diversi sali disciolti,

e, meglio ancora, le soluzioni saline, presentano una temperatura d'ebollizione più elevata di 100°, pur sempre alla pressione d'un'atmosfera. Ecco alcuni dati di Legrand (1835) su la temperatura d'ebollizione dell'acqua satura di diversi sali:

Sale secco in 100 p. d'acqua		Temp. d'eboll.	Sale secco in 100 p. d'acqua		Temp. d'eboll.
Zucchero	119,8	104°, 0	Azotato potassico	335,1	1150, 9
Clorato potassico.	61,5	104, 2	Cloruro di strontio	117,5	117, 9
Cloruro di bario .	60,1	104, 4	Azotato sodico .	224,8	121, 0
Carbonato sodico.	48,5	104, 6	Acetato sodico .	209,0	125, 4
Fosfato sodico . .	113,2	106, 5	Carbonato potassico	205,0	135, 0
Cloruro di potassio	59,4	108, 3	Azotato calcico .	362,2	151, 0
» sodio .	41,2	108, 4	Acetato potassico	798,2	169, 0
Cloridrato ammon.	88,9	114, 2	Cloruro di calcio	325,0	179, 5
Tartr. potas. neutro	296,2	114, 7	Azotato ammonico indef.	180, 0	

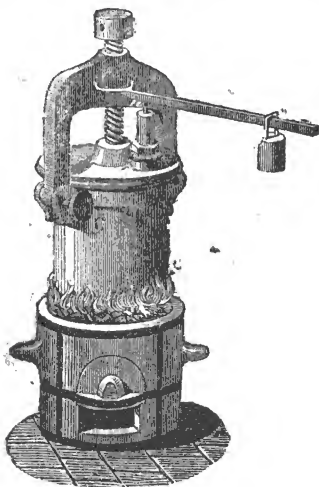


Fig. 165.

§ 222. Poichè ogni liquido entra in ebollizione quando la forza evaporante di esso — valutata dalla tensione del vapore prodotto — eguaglia la pressione esercitantesi alla superficie del liquido medesimo, e poichè col variar di questa varierà la temperatura d'ebollizione, così s'è convenuto di riferire questa temperatura per tutti i liquidi a quella per la quale entrano in ebollizione sotto la pressione di un'atmosfera, ossia di mill. 760 di mercurio a 0°.

Protossido d'azoto . . .	— 87°,9	Cloruro di fosforo . . .	73°,8
Acido carbonico . . .	— 78,2	Id. carbonio . . .	76,5
Id. solfidrico . . .	— 61,8	Alcole etilico . . .	78,3
Gas ammoniac . . .	— 38,5	Benzina . . .	80,4
Cloro . . .	— 33,6	Terebenteno . . .	159,2
Etere metilico . . .	— 23,7		
Acido solforoso . . .	— 10,1	Bromo . . .	63
Etere cloridrico . . .	12,5	Acido nitrico conc. . .	86
Id. etilico . . .	35,0	Iodio . . .	180
Id. bromidrico . . .	38,4	Fosforo . . .	290
Solfuro carbonico . . .	46,2	Olio di lino . . .	316
Acetone . . .	56,3	Acido solforico . . .	325
Cloruro silicico . . .	56,6	Mercurio . . .	350
Cloroformio . . .	60,2	Solfo . . .	440
Alcole metilico . . .	66,8	Cadmio . . .	860

Kopp, e di poi Schröder (1844), Löwig e Gerhardt si occuparono di talune relazioni che si manifestano per diversi liquidi organici tra la loro temperatura d'ebollizione e la rispettiva composizione chimica. Eccone taluni esempi:

Alcoli		Acidi		Eteri
Metilico $C^2H^4O^2$. 56°		Formico $C^2H^2O^4$. 99°		
Etilico $C^4H^6O^2$. 78		Acetico $C^4H^4O^4$. 118		Etilico C^4H^5O . . 36°
Propilico $C^6H^8O^2$. 97		Propilico $C^6H^6O^4$. 137		Propilico C^6H^7O . 55
Butilico $C^8H^{10}O^2$. 116		Butilico $C^8H^8O^4$. 156		Butilico C^8H^9O . 74
Amilico $C^{10}H^{12}O^2$. 135		Valerico $C^{10}H^{10}O^4$. 174		Valerico $C^{10}H^{11}O$. 83

In ciascuna di queste serie di liquidi si scorge che l'aggiunta di una molecola di C fa aumentare la temperatura del liquido di 14°, 55, mentre l'addizione d'una molecola di H la fa abbassare di 5°; tanto che l'aumento di C^3H^2 nella composizione fa crescere di 19° la temperatura di ebollizione di ciascun liquido rispetto al suo precedente. Perciò le precedenti relazioni ponno formularsi così:

$$C^4H^6O^2 + nC^2H^2 = 73^\circ + n19^\circ$$

$$C^2H^2O^4 + rC^2H^2 = 99 + r19$$

$$C^4H^5O + nC^2H^2 = 36 + n19$$

In una miscela di due liquidi differenti, che mutuamente si dissolvono, la temperatura d'ebollizione è, in generale, intermedia fra quelle proprie de' liquidi mescolati, ma s'accosta di più a quella del liquido più volatile, e predominano i vapori di questa nella sovrastante miscela vaporosa. Da ciò il processo della separazione de' liquidi mescolati per mezzo della distillazione. Per esempio, di tal modo si rettifica l'alcole annacquato; poichè il liquido prodotto dalla distillazione contiene maggior proporzione d'alcole che il liquido sottoposto all'operazione.

È chiaro che ove il liquido più vaporabile fosse il superiore, esso bollirebbe come se fosse solo.

Calorie di vaporizzazione dei liquidi.

§ 223. Il mantenersi costante la temperatura ne' liquidi bollenti sotto un'invariata pressione, in onta all'operar continuo di copiosa sorgente calorifica (§ 217), ed il raffreddarsi dei liquidi evaporanti (§ 216), sono fatti dimostranti ad evidenza che un liquido, per trasformarsi in vapore, sia per ebollizione, sia per evaporazione, ri-

chiede una data quantità di calore, la quale ei toglie od a sè stesso od ai corpi circostanti. Si nota qui, come nella liquefazione dei solidi (§ 199), che una sostanza, per effettuare una mutazione nello stato d'aggregazione delle sue molecole per cui venga scemata l'energia delle forze aggregative, necessita d'una data quantità di calore, la quale opera come una forza che disunisce le molecole della sostanza medesima.

Chiamansi *calorie di vaporizzazione* (α) d'un dato liquido le calorie necessarie a

trasformare l'unità di peso del medesimo in fluido aeriforme o vapore, serbando invariata la sua temperatura. A determinare queste calorie in modo diretto s'incontrano varie difficoltà; mentre riesce

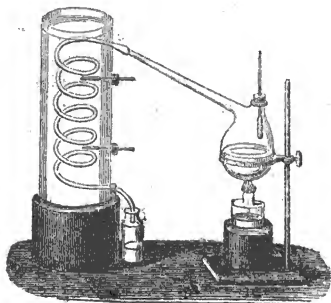


Fig. 166.

(α) Alcuni fisici denominano *calor latente* dei vapori coteste quantità di calore, che noi preferiamo chiamare calorie di vaporizzazione, onde esprimere più direttamente il fatto.

più agevole il determinare le *calorie d'elasticità* del vapore stesso, cioè le calorie prodotte dall'unità di peso di tal vapore, nell'atto che lo si riduce liquido, senza mutarne la temperatura. Sembra però ragionevole l'ammettere che le calorie di vaporizzazione di un individuato liquido equivaler debbano alle calorie d'elasticità del corrispondente vapore.

Per questa determinazione suolsi impiegare il calorimetro ad acqua di Rumford (fig. 166) variamente modificato, e si desumono le calorie *e* d'elasticità di un dato vapore, il cui liquido abbia le calorie *c'* di temperatura mediante l'equazione:

$$(151) \quad e = \frac{p}{p'} (t' - t) c - (\theta - t') c',$$

ove *p* esprime il peso dell'acqua contenuta nel calorimetro; *p'* il peso del vapore che si condensa nel calorimetro e che vi entra colla temperatura θ ; *t* e *t'* le temperature iniziale e finale di detta acqua; *c* e *c'* la caloricità media dell'acqua fra le temperature *t'* e *t* e fra θ e *t'* dell'acqua alle temperature medesime. È chiaro che bisognerà tener preciso conto delle calorie assorbite dalle varie parti dell'apparecchio, e di quelle dal medesimo ricevute ed emesse per irradiazione o per conducibilità.

Favre e Silbermann adoperarono invece il calorimetro a mercurio (§ 155), il quale giova segnatamente quando si abbia disponibile soltanto una piccola quantità del liquido da vaporizzare.

Le calorie di vaporizzazione dell'acqua, o piuttosto le calorie d'elasticità del vapor acqueo, furono ricercate da vari fisici.

Regnault, riducendo a singolar perfezione il calorimetro ad acqua, usando le debite cautele per eliminare le influenze perturbatrici, ed eseguendo un gran numero di esperienze tra loro abbastanza concordi, ci porse il risultato oggidì meglio attendibile, cioè calorie 530,5. Favre e Silbermann poco dopo ebbero, col loro calorimetro a mercurio, calorie 535,8. L'inglese Youle ottenne pure dalle sue sperienze un valore ben prossimo a quello di Regnault, cioè calorie 536,1. Quasi lo stesso valore ottenne il Belli molto prima, trovando calorie 536,25. Però tutti questi risultati riguardano le calorie d'elasticità del vapor acqueo sotto la pressione di un'atmosfera all'incirca, epperò avente la temperatura di circa 100°.

Si può dunque ritenere essere 536,5 le calorie da comunicarsi ad un chilogrammo d'acqua a 100° per trasformarlo in vapore. È però rimarchevole che questo numero di calorie corrisponde a 6,77 volte quello (calorie 79,25) richiesto a liquefare un chilogrammo d'acqua solida a 0°.

E quindi si può ritenere che le dette calorie di vaporizzazione dell'acqua corrispondano al lavoro meccanico necessario a vincere la coesione sussistente fra le molecole dell'acqua (§ 1 C), e la pressione atmosferica che si oppone all'espandersi del vapore formatosi.

Regnault, oltre la serie di esperienze sovraccitate e relative alla pressione di un'atmosfera, istituì altre serie di esperienze, nelle quali il vapore acqueo sosteneva ora pressioni mano mano crescenti sino oltre metri 10, ed ora pressioni decrescenti sino a 4 millimetri, variando in correlazione la temperatura del vapore, sicchè in ogni caso esso spiegasse la tensione massima corrispondente.

Ora egli trovò l'insieme di coteste sue osservazioni esser rappresentato, con bastevole approssimazione, dalla formola:

$$(152) \quad C = 606,5 + 0,305 t,$$

nella quale C esprime le calorie totali del vapore acqueo alla densità di saturazione corrispondenti alla temperatura t , contata questa da 0° , e data da un termometro ad aria. E le calorie d'elasticità C_p di vaporizzazione dell'acqua alle diverse temperature si avranno dalla:

$$C_p = C - C_s,$$

ove C_s esprime le calorie di riscaldamento dell'acqua da 0° a t , le quali calorie sono fornite dalla formola al § 156. Il seguente quadro porge il riassunto delle menzionate esperienze di Regnault sul vapore acqueo alla densità di saturazione.

t	C_t	C_p	t	C_t	C_p
0°	606,5	606,6	120°	643,1	521,3
10	609,5	599,5	130	646,1	515,1
20	612,6	592,6	140	649,2	508,0
30	615,7	585,7	150	652,2	500,7
40	618,7	578,7	160	655,3	493,6
50	621,7	571,6	170	658,3	486,2
60	624,8	564,7	180	661,4	479,0
70	627,8	557,6	190	664,4	471,6
80	630,9	550,6	200	667,5	464,3
90	633,9	543,5	210	670,5	456,8
100	637,0	536,5	220	673,6	449,4
110	640,0	529,4	230	676,6	441,9

Ridette Regnault che la frazione 0,305 indica le calorie da comunicarsi ad un chilogrammo di vapore acqueo alla densità massima per elevarne la temperatura di 1° , nell'atto che lo si comprime si

da mantenerlo in istato di tensione massima, e che perciò la frazione medesima esprime la caloricità particolare del vapor acqueo, diversa dalla caloricità dei gas a volume costante od a pressione costante, ma intimamente collegata con queste.

§ 224. Circa alle calorie di vaporizzazione d'altri liquidi sonvi numerose ed attendibili sperienze di Favre e Silbermann eseguite col loro calorimetro a mercurio, sovra sostanze preparate con molta cura.

Posteriormente Regnault esegui molte ed importanti serie di sperimenti su parecchi liquidi. Conoscendo le calorie di scaldamento C_s a diverse temperature (§ 156), e determinate le calorie totali C_t di scaldamento e di vaporizzazione degli stessi liquidi, poté valutare le calorie C_p di sola vaporizzazione dell'unità di peso sotto diverse temperature. Eccone le rispettive formole:

Acqua	$C_t = 606,5 + 0,305 t$
Id. . . .	$C_p = 606,5 - 0,695,7 - 0,00002t - 0,000003t^2$
Acetone . . .	$C_t = 140,5 + 0,3664t - 0,000516t^2$
Id. . . .	$C_p = 10,45 - 0,014003t - 0,000912t^2$
Etere etilico .	$C_t = 94,0 + 0,4500t - 0,000555t^2$
Id. id. . .	$C_p = 94,0 - 0,790t - 0,0008514t^2$
Solfuro di carb.	$C_t = 90,0 + 0,1460t - 0,0004123t^2$
Id. id. .	$C_p = 90,0 - 0,0892t - 0,000494t^2$
Cloroformio .	$C_t = 67,0 + 0,1375t$
Id. . .	$C_p = 67,0 - 0,09485t - 0,00005072t^2$
Cloruro di carb.	$C_t = 52,0 + 0,1433t - 0,000175t^2$
Id. id. .	$C_p = 52,0 + 0,5172t - 0,000262t^2$

Trovate poi sperimentalmente le calorie C_p di vaporizzazione dell'unità di peso d'un liquido alla temperatura di ebollizione t , si avranno le corrispondenti calorie di vaporizzazione dell'unità di volume C_v moltiplicando C_p per la densità che avrà il liquido alla medesima temperatura t ; cioè si avrà:

$$(153) \quad C_v = C_p \frac{D}{1 + \delta' t'},$$

ove D esprime la densità del liquido a 0° , e δ' il coefficiente medio della sua dilatazione cubica reale da 0° a t° .

Ma poichè i diversi liquidi, sotto una stessa pressione, bollono a temperature fra loro assai differenti, e poichè probabilmente nei liquidi (come già s'è notato pei solidi) varierà dall'uno all'altro la legge del decremento nella coesione correlativo all'incremento nella temperatura, ci sembra opportuno di valutare altresì per ciascun liquido le *calorie di scaldamento*, cioè le calorie volute per isaldare

la massa corrispondente all'unità di volume a t , come sopra, da 0° a t° , cioè:

$$(154) \quad C_s = \frac{Dct}{1 + \delta' t}$$

ove c sono le calorie di temperatura dell'unità di peso del liquido stesso, valor medio da 0° a t° .

Queste calorie di scaldamento, che ponno dirsi di vaporizzabilità per i liquidi elevati sino alle rispettive temperature di ebollizione, corrispondono a quanto si valutò sopra pei solidi (§ 165) sotto il nome di calorie di fusibilità; se non che qui ci è forza di assumere qual comun termine di partenza per le temperature l'ordinario zero termometrico, invece dello zero assoluto.

Approfittando dei dati di Regnault e di Favre e Silbermann per le calorie di scaldamento e di vaporizzazione di vari liquidi, calcolai per alcuni di essi le quantità C_v , C_s , non che le calorie totali C_t corrispondenti alla somma delle medesime quantità:

	Temp. eboll.	C_s	C_p	C_v	C_t
Mercurio	350 ^o ,0	156,3	77,5	988,7	1185,0
Acqua	100,0	96,3	536,5	514,1	610,4
Alcole metilico . .	60,0	33,6	263,0	200,5	234,1
Id. etilico . . .	78,4	35,5	208,9	156,5	192,0
Id. amilico . . .	132,0	56,8	121,4	88,9	145,7
Acido solforoso . .	-8,0	—	94,6	138,0	138,0
Terebenteno . . .	156,0	65,5	68,7	58,8	124,3
Solfuro di carbonio	46,3	13,6	84,8	103,9	117,5
Etere acetico . . .	74,0	29,3	105,8	86,6	115,9
Cloroformio . . .	60,3	20,0	61,1	86,2	106,2
Etere etilico . . .	35,5	12,9	91,1	63,7	76,6

Da questo specchio emerge primamente che le calorie di vaporizzazione dei liquidi, valutate a pesi eguali, come si suole, non offrono evidente rapporto colla loro coerenza relativa. Questa è assai meglio rappresentata dalle calorie di vaporizzazione per eguali volumi, e meglio ancora dalle calorie totali, nelle quali stanno comprese anco le rispettive calorie di scaldamento partendo da 0° .

È però rimarchevole che, in generale, le temperature di ebollizione non sono punto proporzionali alla varia coesione de' liquidi: hanno piuttosto rapporto colla loro viscosità: come è evidente pel terebenteno e per l'alcole amilico, che sono liquidi poco coerenti, siccome risulta dai fatti capillari. Laonde, ancor qui si rileva che ne' liquidi la viscosità non ha rapporto colla loro coesione (§ 135). Pare anzi che

ne' liquidi viscosi, coll'aumentare della temperatura, la coesione decresca più rapidamente che non avvenga nei poco viscosi.

Pertanto si può conchiudere che le calorie di mutazione di stato (calore latente) d'un corpo non ponno avere alcuna attinenza colle calorie di riscaldamento (calore specifico) della sostanza nei due stati; poichè nel determinar quelle si ritiene invariata la temperatura del corpo, laddove queste inchiudono necessaria una mutazione di temperatura.

Tanto nella fusione d'un solido, quanto nella vaporizzazione d'un liquido le calorie richieste corrispondono, in simil modo, al lavoro meccanico necessario a modificare le forze molecolari od a vincere le esterne resistenze, in rapporto alla mutazione occorsa nello stato di aggregazione de' corpi stessi.

Lavori corrispondenti alle calorie di vaporizzazione.

§ 225*. Quanto poi alle calorie di vaporizzazione a volume, calcolate sopra per diversi liquidi, è da avvertire che esse non corrispondono soltanto al lavoro necessario a vincere la coesione residua in ciascun liquido, scaldato già alla sua temperatura d'ebollizione, disgregandone al tutto i gruppi molecolari. Esse comprendono altresì il lavoro necessario a discostare tra loro le molecole del vapore, in onta alla pressione di un' atmosfera, che supponiamo esercitarsi sulla superficie dei diversi liquidi bollenti, discostandole appunto sintanto che esse esercitino una forza espansiva eguale a quella del mezzo in cui si diffondono. E poichè i diversi liquidi, bollendo, danno vapori le cui densità relative sono assai diverse tra loro, ne consegue essere molto diversi i volumi dei vapori prodotti dai diversi liquidi, presi questi ad eguali volumi, e quindi differir dovranno tra loro i corrispondenti lavori.

Possiamo dunque distinguere il lavoro di vaporizzazione d'un liquido in due atti: cioè lavoro di disgregamento e lavoro d'espansione. Ora è manifesto che questo secondo lavoro sarà, in generale, ben piccolo rispetto al primo: tuttavia la coesione relativa residua ne' liquidi bollenti deve avere rapporto soltanto col primo di questi lavori. Perciò, a valutare codesta coesione, bisogna aver modo di separare il lavoro di espansione dal complessivo lavoro di vaporizzazione, rappresentato questo dalle calorie di vaporizzazione, dell'unità di volume del liquido bollente. Il che non è difficile.

A tal uopo denomineremo *volume relativo* di un vapore il rapporto sussistente fra la densità del liquido che lo produce e quella del vapore prodotto, ritenendo che la temperatura si mantenga nel va-

pore qual'era nel liquido da cui si spiccò, e riferendo la densità tanto dell'uno, quanto dell'altro a quella dell'acqua a 40°. E poichè tal rapporto fra le densità sarà l'inverso del rapporto fra i volumi del liquido e del vapore ritenuti ad eguale temperatura, potrà pur dirsi che codesto volume relativo, pei diversi vapori rappresenterà l'incremento del volume unitario del liquido nel vaporizzare sotto una data pressione. Or questo volume relativo, ossia il volume V , in metri cubi, del vapore prodotto da un litro di liquido bollente alla temperatura t , sarà dato dalla:

$$(155) \quad V = \frac{D}{d \, p} \cdot \frac{760}{f} \cdot \frac{1 + \delta t}{1 + \delta' t} = D' \frac{1 + \delta t}{d \, p} \cdot \frac{760}{f},$$

ove D e δ' hanno lo stesso significato come è sopra esposto, mentre poi D esprime la densità del liquido alla temperatura t , d la densità del vapore al massimo di tensione riferita a quella dell'aria secca, p il peso in chilogrammi d'un metro cubo d'aria secca a 0° ed alla pressione di millim. 760 di mercurio a 0°, δ il coefficiente di dilatazione cubica dell'aria secca a volume costante, f la forza espansiva o tensione massima del vapore corrispondente alla temperatura t , espressa in millimetri.

■ denominando poi *potere dinamico* d'un vapore il suo lavoro d'espansione, cioè il lavoro prodotto col moto espansivo delle sue molecole, onde eguagliare il lavoro resistente sviluppato dall'esterna pressione contro di esse, s'avrà direttamente:

$$(156) \quad K = V P,$$

esprimendo K codesto potere dinamico in grandi dinamodi da mille chilogrammi cadauno, e P la pressione esterna esercitantesi su la superficie d'un metro quadrato, in relazione alla tensione f del vapore, valutata tal pressione in tonnellate da mille chilogrammi cadauna, talchè sarà:

$$P = 10,3329 \frac{f}{760}$$

Epperò, grazie alle (155) e (156), s'avrà:

$$K = 10,333 D' \frac{1 + \delta t}{d \, p}.$$

Per i vapori dei liquidi sovra considerati diamo qui calcolati i volumi relativi V in metri cubici ed i poteri dinamici K in grandi dinamodi alle rispettive temperature di ebollizione, per cui $f = 760$.

	V	K		V	K
Mercurio . . .	3,240	33,482	Cloroformio . .	0,318	3,285
Acqua	1,629	16,827	Alcole amilico .	0,267	2,758
Alcole metilico.	0,683	7,056	Etere acetico . .	0,265	2,729
Acido solforoso	0,496	5,125	id. etilico . . .	0,239	2,473
Alcole etilico .	0,469	4,851	Terebenteno . .	0,196	2,026
Solfuro di carb.	0,414	4,274			

§ 226.* Ora, in appoggio a codesti poteri dinamici dei diversi vapori, ci sembra si possa valutare, almeno in via d'approssimazione, quella parte delle calorie di vaporizzazione dei rispettivi liquidi che risponde al lavoro d'espansione del vapore contro la esterna pressione, coll'assumere come dato l'equivalente meccanico del calore, o per meglio dire il valore dinamico d'una caloria (del quale si dice innanzi). Infatti codeste calorie C_e , che diremo *calorie d'elaterio* d'un vapore, saranno date dalla semplice relazione:

$$(157) \quad C_e = \frac{K}{E},$$

posto E l'equivalente anzidetto, espresso, al pari di K , in grandi dinamodi, cioè E 0,4235.

Allora poi, sottraendo dalle calorie di vaporizzazione a volume C_v del liquido codeste calorie di elaterio del vapore C_e s'avrà nel residuo l'altra parte delle prime, che abbiám detto corrispondere al lavoro di disgregamento del liquido, cioè al vincere le forze molecolari aggregative, quali residuano nel liquido stesso alla temperatura di ebollizione. Quindi s'avrà:

$$(158) \quad C_m = C_v - C_e,$$

indicando con C_m quest'altre che diremo *calorie di disgregamento* del liquido, e che dovrebbero misurare la coesione relativa residua nel liquido stesso, più precisamente che nol facciano le complessive calorie di vaporizzazione, quali furono sopra valutate.

Per i liquidi già considerati sopra si ottengono i valori seguenti:

	Calorie di		C_m
	elaterio C_e	disgregam. C_m	
Mercurio	79,06	909,6	11,5
Acqua	39,73	474,4	11,9
Alcole metilico	16,65	183,8	11,0
id. etilico	11,45	145,0	12,7
Acido solforoso	12,10	125,9	10,4
Solfuro di carbonio	10,91	93,9	9,3
Alcole amilico	6,51	82,4	12,7
Etere acetico	6,44	80,2	12,4
Cloroformio	7,76	78,4	10,0
Etere etilico	5,84	57,9	9,9
Terebenteno	4,76	54,1	11,4

È dunque assai maggiore la parte delle calorie di vaporizzazione d'un liquido richiesto a vincerne la coesione, che non sia quella voluta a produrre l'espansione nel vapore, vincendo la pressione esteriore. Però, pei liquidi precedenti, codeste due parti sono tra loro prossimamente proporzionali, poichè risulta ben poco differente da uno ad altro liquido il rapporto di C_m a C_r , come è indicato nella terza finca numerica del quadro precedente.

§ 227. Tanto è rilevante ancora la coesione residua nei liquidi bollenti, che le calorie volute a disgregarne completamente l'unità di volume superano, in generale, per ciascuna sostanza, le rispettive calorie di fusione dell'unità di volume, quando essa sia solida. Valgano in prova questi esempi:

	Mercurio	Acqua	Solfo	Jodio
Calorie di fusione del solido	40,9	72,8	18,1	55,3
Id. di disgreg. del liquido	909,6	484,4	100,4	75,2

Ad una medesima conclusione si giunge confrontando anche sostanze diverse, prese nei due stati. Così, a disgregare in forma elastica un litro di etere o di terebenteno già bollenti, che sono due liquidi pochissimo coerenti, si richiede un numero di calorie pressochè eguale a quello voluto a liquefare un decimetro cubo di piombo (59^g) già scaldato alla temperatura di fusione. Ed a disgregare un litro d'acqua bollente vuolsi non meno di calore che a liquefare un decimetro cubo di ferro, che è tra i solidi più tenaci. Pel mercurio poi il lavoro di vaporizzamento è quasi doppio che per l'acqua.

Laonde la somma delle resistenze interne, provocate dalle forze molecolari aggregative e da vincersi per vaporizzare un liquido, è maggiore assai della somma delle analoghe resistenze da vincersi per liquefare un solido: ovvero *la diminuzione nella coerenza che prova un solido nel liquefarsi è minore di quella che subisce un liquido nel vaporizzare.*

§ 228. Fu di molta importanza un'osservazione di Cagniard-La-Tour, che manifesta come ad una data temperatura ciascun liquido perda affatto ogni coesione, e come questa temperatura sia tanto più elevata quant'è maggiore la sua coerenza. Scaldando molto oltre alcuni liquidi entro robusti tubi, ove essi riempiono solo una parte del vano, giunge una temperatura alla quale il liquido, completamente e d'un tratto, disgregandosi, si vaporizza, e ricompare poi in forma liquida tostochè la temperatura venga d'alcun che diminuita. L'etere gli presentò questo completo disgregamento a 200° circa, l'alcole a 259°, il solfuro di carbonio a 275° e l'acqua intorno a 420°.

Wolf osservò che questa completa dissociazione di un liquido è indipendente dalla pressione che esso subisce ed ha solo relazione colla

temperatura: poichè un dato liquido si vaporizza interamente sotto una data temperatura, quantunque in diversi tubi esso occupi dove solo un quarto, dove la metà e dove tre quarte parti dell'intera capacità de' tubi stessi; per modo che, secondo la legge di Boyle, in questi diversi casi esser deve ben diversa la pressione esercitata dal vapore già diffuso nel vano del tubo prima che accada la disgregazione dei liquidi. Ancor egli verificò che l'etere si disgrega a circa 200°, cioè a quella temperatura per la quale questo liquido cesserebbe d'esser coerente, anche secondo le sperienze di Brunner (pag. 168) intorno alla influenza della temperatura sull'elevazione di esse in un cannello capillare.

Il Drion trovò che l'acido solforoso e l'etere cloridrico rinchiusi allo stato liquido entro robusti tubi si disgregano al tutto a 140° ed a 170° rispettivamente: però a temperature poco discoste da queste essi mostrano una dilatabilità termica veramente ragguardevole (§ 146), superando anche di molto quelle degli stessi gas, poichè a 130° quei due liquidi diedero coefficienti di dilatazione rispettivamente corrispondenti 0,00957 e 0,00503.

Recentemente (1875) Avenarius trovò sperimentalmente accadere la completa dissociazione dell'etere a 196°,2, dell'acetone a 246°, del solfuro di carbonio a 276°, e del cloruro di carbonio a 295°. Questa temperatura adunque, benchè, in generale, sia meno alta nei liquidi più vaporabili, non ha però una diretta relazione colla rispettiva loro temperatura di ebollizione (§ 222): il che significa che in essi la coesione decresce con varia ragione coll'aumentare della temperatura al di là di quella della loro ebollizione ad un'atmosfera.

Il fatto ora menzionato dell'essere indipendente la temperatura del disgregamento d'un liquido dalla pressione esteriore merita molta considerazione, confermando mirabilmente la dottrina che la *temperatura dei corpi esprime la condizione dinamica delle loro molecole*, ossia il vario grado di energia antagonista alla molecolare gravitazione.

§ 229. Dietro le cose fin qui esposte ricevono più agevole dichiarazione alcuni fatti, che valgono altresì a confermare la succennata (§ 172) dottrina della incessante svaporazione dei liquidi.

Abbiansi due campane, munite di un'apertura superiore, per la quale passa un termometro, serrato da un tappo di gomma. Il serbatoio cilindrico di ciascun termometro è involto da carta bibula a più doppi. Sotto una di esse sta un vasetto con acqua, e sotto l'altra un piattello con acido solforico concentrato, ed i labbri delle campane combacino per bene con una sottoposta lastra di vetro piana e smerigliata. Lasciando queste campane in uno stesso ambiente, riparato dalle correnti d'aria, per alcun tempo, i due termometri, se

saranno comparati, segneranno una medesima temperatura, corrispondente a quella dell'ambiente stesso, indicata da altro termometro. Allora con prontezza si scambino le due campane, sicchè quella che copriva il vaso con acqua, copra ora il piatto con acido solforico, e reciprocamente per l'altra. Di subito si noterà una diminuzione di temperatura nel termometro della prima, ed un aumento in quello della seconda, che or copre l'acqua. E quel raffreddamento e questo scaldamento continueranno per alcun tempo, sino a raggiungere un massimo di differenza in meno ed in più rispetto alla temperatura dell'ambiente. Dopo di che queste differenze andranno scemando ne' due termometri, sino a ricondursi alla stessa temperatura esterna. Poichè pel primo il suo cartoccio, dianzi imbevuto di vapore acqueo condensato, emetterà in un dato tempo per evaporazione un numero di molecole liquide ben maggiore di quello delle molecole vaporose diffuse nell'ambiente, che in pari tempo si condenseranno penetrando nella carta stessa, gran parte di esse venendo continuamente tratteneute dall'acido solforico, col quale si combinano, idratandolo. Invece pel serbatoio termometrico, il cui cartoccio s'era dianzi dissecato per bene stando sotto la campana contenente acido solforico, ora si scalderà, perchè per un dato tempo si condenserà in esso un numero di molecole vaporose, emesse dall'acqua or sottostante, maggiore di molto di quello delle molecole che esso emetterà per svaporazione. Ma, poco a poco asciugandosi il primo cartoccio ed inumidendosi l'altro, il primo subirà un raffreddamento ed il secondo uno scaldamento sempre minore, sino a rimettere in equilibrio la loro temperatura con quella dell'ambiente, quando il primo avrà cessato di evaporare in più del condensamento di vapore esterno, e l'altro di evaporare in meno della condensazione stessa.

Ora questi due fatti concorrono a provare che in quest'ultimo caso, ancor quando vediamo ridursi costante la temperatura del cartoccio inumiditosi, non può in esso sospendersi l'evaporazione ed il conseguente raffreddamento, come non può cessare per esso la condensazione del vapore ambiente ed il correlativo scaldamento. Fuorchè eguagliandosi i numeri delle molecole evaporantisi e delle molecole condensantisi nell'unità di tempo, saranno pur eguali tra loro le quantità di calore trasmesso e di calore ricevuto nel tempo stesso.

Tale stato di continua svaporazione di un liquido può dimostrarsi in quest'altro modo. Una boccia a lungo collo, contenente acqua per circa un terzo della sua capacità, è fatta bollire per alcun tempo, e mentr'è bollente, vien chiusa con un tappo di gomma, sicchè poco o punto di aria vi resti entro, e tosto la si capovolge, facendo tuffare l'estremo del collo, così tappato, entro acqua contenuta in un bicchiere. Allora si scorge che l'acqua della boccia per alcun tempo

continua a bollire, sebbene la temperatura di essa vada rapidamente scemando, e ciò fintanto che la massima tensione del vapore che può mantenersi nell'alto della boccia, al disopra dell'acqua, sarà infe-

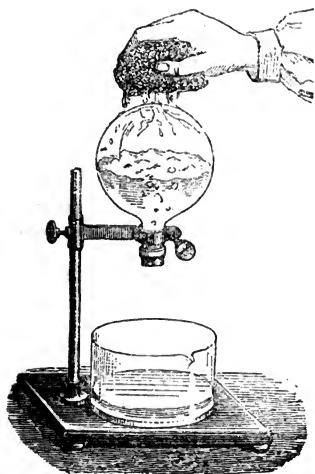


Fig. 167.

riore alla forza evaporante di questo. Poichè il vapore stesso, raffreddandosi più prestamente del liquido in contatto colla parete superiore della boccia, vien man mano a condensarvisi, permettendo lo svolgimento di altro vapore. E ciò sinchè queste perdite di calore fatte dal vapore potranno essere compensate dal calore che gli trasmette il liquido sottostante. Sarà allora cessata la ebollizione, e apparirà anche cessata la svaporazione, in quanto si eguaglierà la emissione di vapore fatta dal liquido colla quantità di vapore dal medesimo ricevuta per condensazione.

E che in fatto continui la svaporazione si deduce da ciò, che appena toccando qualche punto della parete superiore della

boccia con un corpo meno caldo di quel che sia la precedente sua temperatura, ivi condensandosi l' interno vapore, subito si manifesta una nuova ebollizione del liquido, la quale durerà finchè durerà quella differenza in meno nella temperatura.

Un fenomeno analogo può ottenersi ponendo un bicchiere con acqua, anche fredda, sotto la campana pneumatica, e rarefacendo molto l'aria in essa contenuta. Dapprima si avranno i fenomeni notati addietro (§ 179), e poscia, quando la forza espansiva dell'aria e del vapore residui nella campana comincerà ad essere minore della forza evaporante del liquido, si manifesterà in questo una vera ebollizione, formandosi bolle di vapore anche dalla superficie dell'acqua in contatto col fondo e colle pareti del vaso. E questa ebollizione continuerà alcun po', se si continuerà nella rarefazione dell'aria, cioè se si asporterà mano mano più di vapore che non se ne produca dal liquido, mantenendo la forza espansiva dell'aria minore della forza evaporante dell'acqua. Ma, dopo alcun tempo l'ebollizione non è più possibile, non solo perchè andrà pur diminuendo la forza eva-

porante dell'acqua pel raffreddamento corrispondente alla svaporazione stessa, ma ancora perchè l'acqua, spogliandosi dell'aria, che di solito tien condensata dentro di sé, diviene inetta a produr vapore nelle parti interne ed a contatto colle pareti, e solo può darlo alla sua superficie libera.

In entrambe quest'esperienze vediamo bollire l'acqua senza fuoco, anzi senza comunicazione di esterno calore: eppure a vaporizzare l'acqua è necessaria una ragguardevole quantità di calore, cioè una ragguardevole forza viva. Imperocchè col diminuire la temperatura del liquido, aumentano le calorie di vaporizzazione, sebbene scemi la forza evaporante e quindi la quantità di vapore prodotto dall'unità di superficie evaporante. Ora dunque è chiaro che la forza motrice per quest'evaporazione deve essere fornita dal liquido stesso, e che perciò le molecole del liquido esser devono in istato di moto.

E codesto raffreddamento per ebollizione o per isvaporazione d'un liquido può condursi a tale, da sottrarre ad esso anco le calorie di liquidità, riducendolo solido. Il che ottiensi coll'esperienza di Leslie, cioè favorendo la svaporazione dell'acqua contenuta in una piccola capsula posta sotto la campana pneumatica, col massimo di rarefazione ottenibile, ed insieme coll'azione condensante esercitata dall'acido solforico. La stessa cosa si ottiene col *crioforo* di Wollaston, cioè con un tubo a-

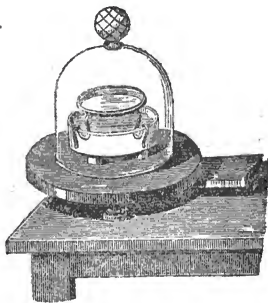


Fig. 168.

vente a ciascun estremo una bolla, entro cui siasi chiusa ermeticamente un po' d'acqua, vuotando prima di aria tutto il vano con una preventiva ebollizione dell'acqua stessa, e ponendo poi l'una di tali bolle entro una miscela frigorifera: con che s'avrà una continua distillazione dell'acqua dalla bolla ancor calda alla più fredda, cioè una continua svaporazione nella prima ed una continua liquefazione di vapore nella seconda. Il raffreddamento può così proseguire sinché la forza evaporante dell'acqua nella prima bolla ecceda la forza espansiva massima del vapore alla temperatura della miscela, nella quale sta l'altra bolla.

Il fatto del congelarsi dell'acqua per efficace evaporazione riesce più prontamente dimostrato nel seguente modo. Un termometro sensibile tiene il serbatoio cilindrico involto da un cartoccio bagnato, come s'è detto sopra, rinchiuso in una campana; e questa applicata

sul piatto della macchina pneumatica, e si procede lentamente nella rarefazione. Il termometro accenna un raffreddamento progressivo pel continuo svaporare dell'acqua ond'è imbevuto il cartoccio, tanto da scendere parecchi gradi sotto lo zero, quando d'un tratto la temperatura si eleva per ridursi esattamente la zero, dove si mantiene per qualche tempo, perchè l'acqua residua, congelandosi, si scalda sino alla temperatura d'agghiacciamento (§ 202). Di poi la temperatura ripiglia a decrescere, ma con molta lentezza, attesa la minore vaporabilità dell'acqua solida a bassa temperatura.

Applicazioni.

§ 230. La conoscenza delle calorie di vaporizzazione dei liquidi ci porge facile spiegazione di molti fenomeni e di molte esperienze, e ci suggerisce pur molte ed importanti spiegazioni. Così, ad esempio, si comprende perchè i liquidi od i vegetali (a) si mantengano, in generale, ad una temperatura alcun po' inferiore di quella dell'ambiente; perchè si raffreddino i liquidi ponendoli in vasi porosi, ed i corpi in genere involgendoli con panni inzuppati, e quindi agitandoli o ponendoli nell'aria rarefatta; anzi talora siffatto raffreddamento giunge a far agghiacciare diversi liquidi e persino il mercurio e l'acido carbonico; perchè i liquidi più vaporabili, come l'etere, il solfuro di carbonio, e più ancora gli acidi solforoso e carbonico liquefatti, siano i più adatti a produrre codesti effetti (b); come, in opera della traspirazione cutanea e polmonare, l'uomo, ed in genere tutti gli animali a sangue caldo, mantengano costante la loro temperatura interna anche in un ambiente a temperatura ben più elevata (c); per-

(a) Qualora si consideri la media temperatura dell'insieme delle parti interne d'un vegetale durante il giorno, come fece Sehubler (1827), la si trova alcun po' inferiore a quella dell'ambiente, a motivo della continua svaporizzazione dei liquidi onde sono imbevuti i suoi tessuti. Ciò nondimeno, come s'indicherà innanzi, parlando delle fonti del calore, i vegetali mostrano una lor propria temperatura, la quale si manifesta di preferenza in quelle parti del loro organismo dove più efficaci sono le funzioni vitali.

(b) L'acido carbonico liquefatto, esposto all'aria libera, svapora sì rapidamente, epperò si raffredda di tanto da solidificarsi, riducendosi a circa -69° ; indi si mantiene in tale stato, anco in un ambiente di 15° a 20° , poichè se ne volatilizza mano mano quella porzione che vale a togliergli le calorie comunicategli dall'aria ambiente. E, formando coll'acido carbonico solido commisto ad etere ordinario una pasta semifluida, Pouillet (1845) la vide ridursi e mantenersi a -79° , pure lasciandola esposta all'aria avente una temperatura di circa -3° .

(c) Sono notevoli le sperienze eseguite nel 1775 da Fordyce, Blagden, Banks,

chè in estate l'aria umida ci sembri più calda (o meglio più soffocante, dell'aria secca, pure ad eguale temperatura; perchè in molti e svariati casi il vapor acqueo venga impiegato come calorifero assai efficace ed economico (a).

Liquefazione dei gas.

§ 231. Si accennò altrove (§§ 9 e 114) che molti fluidi, i quali si ritenevano un tempo gas permanenti, serbandosi allo stato aeriforme nelle condizioni delle ordinarie temperature e pressioni, venner poi ridotti liquidi, sia per valide pressioni, sia per istraordinari raffreddamenti, sia infine consociando queste due circostanze.

Northmore ottenne la liquefazione del cloro; Monge e Clouet liquefecero l'acido solforoso; Davy ridusse liquido il gas cloridrico, e Faraday il gas solfidrico, l'acido carbonico, il protossido d'azoto, il cianogeno ed il gas ammoniacco, e confermò la liquefazione del cloro e dell'acido solforoso. Faraday e Davy si occuparono anco di determinare le forze espansive dei vapori svolgentisi dai predetti liquidi sotto diverse temperature.

Faraday riprese più tardi quest'argomento, ed istituì una ben più estesa serie di osservazioni, con mezzi più poderosi e più precisi. Per ottenere un freddo assai intenso, si giovò della pasta di acido carbonico e d'etere, e della quale si disse più addietro (§ 230). Ad un freddo di -80° e sotto una pressione minore di un'atmosfera (0,65 di atmosfera) vide liquefarsi non solo, ma pur solidificarsi, i seguenti gas: acido solforoso, cianogeno, ammoniaca, acido iodidrico, acido solforico ed acido carbonico; il cloro, l'acido bromidrico e l'i-

Sorlander e Dobson. Entro camere scaldate da condotti di stufe ed insieme da vapor acqueo si ponno tollerare per alcuni minuti temperature gradatamente crescenti da 43° a 54° ; laddove nell'aria secca si può reggere, pure per alcuni minuti, a temperature assai più elevate, comprese da 100° a 120° . Eppure la temperatura del corpo non cresce più d'un grado e mezzo del valor normale.

Delaroche e Berger istituirono sperienze analoghe. Nell'aria secca Berger tollerò per 7' un calore di $109,5$ perdendo per traspirazione gr. 31 al minuto. Invece nell'aria al massimo di umidità Delaroche sopportò per soli $10,5$, un bagno a temperatura crescente da $37^{\circ},5$ a 51° , e Berger in un ambiente similmente umido, che variò da 41° a 54° , stette non oltre $12'$.

Nell'acqua liquida si resiste solo a temperature ancor minori: Lemonnier poté tollerare senza molestia un bagno d'acqua a 38° ; mentre in un bagno a 44° non poté reggere più di 8', pur risentendo forti incomodi: il battito de' suoi polsi era assai frequente, e la traspirazione tanto copiosa da perdere gram. 76 al minuto.

(a) Un chilogrammo di vapor acqueo a 100° , liquefacendosi, vale a scaldare di 10° circa metri cubi 174 di aria atmosferica.

drogeno arsenicato si liquefecero senza solidificarsi. A temperature ancor più basse (comprese tra -80° e -110°), o valendosi di pressioni maggiori di un'atmosfera, giunse a liquefare anche il protossido d'azoto, il gas oleifico, l'acido fluosilicico (che si liquefece a -107° ed alla pressione di 9 atmosfere), l'idrogeno protofosforato, l'acido fluoborico e l'acido cloridrico.

E non si liquefecero, stando pure a -110° per qualche tempo, l'azoto ed il biossido d'azoto sotto una pressione di 50 atmosfere, l'idrogeno e l'ossigeno sotto 27 atmosfere e l'ossido di carbonio sotto 40. L'ossigeno a -94° resistette anco a 58 atmosfere. Faraday istituì anche diverse serie di osservazioni su la tensione dei vapori svolti da parecchi dei detti gas liquefatti. Eccone alcuni esempi:

Tensione massima in atmosfere.

Temp.	$-73,03$	-40°	$-17^{\circ},8$	$-1,01$
Acido carbonico . . .	1,8	11,1	22,8	37,2
Protossido d'azoto . .	1,8	8,7	19,3	31,1
Acido cloridrico . . .	1,8	7,7	15,0	25,3
Acido solfidrico . . .	1,0	2,9	6,1	9,9

Dalle quali osservazioni argomentò che, presi i gas alla temperatura 0° , si richiedono le seguenti pressioni per ridurli liquidi:

Acido solforoso . . atm.	1,5	Gas solfidrico . . . atm.	10
Cianogeno	2,4	» cloridrico	26
Acido iodidrico	4	Protossido d'azoto . . .	32
Gas ammoniaco	4,4	Acido carbonico	38
Idrogeno arsenicato . .	9	Gas oleifico	43

Regnault ottenne valori poco diversi. Ad esempio, i gas carbonico, solfidrico ed ammoniaco gli diedero tensioni massime a 0° rispettivamente di atm. 35,4; 10,8 e 4,2, ed a -20° atm. 19, 9; 58, e 1,8.

Secondo Natterer l'idrogeno, l'azoto, l'aria e l'ossido di carbonio resistono senza liquefarsi a pressioni maggiori di 2 mila atmosfere, L'ossigeno si mantiene gasoso sino a mille atmosfere; ma non lo si può spingere a pressioni maggiori senza che esso abbruci le materie grasse che tengono la chiusura nelle valvole.

Fenomeno di Leidenfrost.

§ 232. Lorquando un liquido, in iscarsa quantità, viene versato sovra un solido avente una temperatura superiore di molto a quella dell'ebollizione dello stesso liquido, questo si scalda con tale lentezza da richiedere, per la completa sua evaporazione, un tempo le molte volte maggiore di quello che è necessario a produrre lo stesso

effetto quando il solido ha una temperie superiore di poco a quella rispondente all'ebollizione (a). L'azione molecolare che ingenera l'adesione tra liquido e solido, col crescere della temperatura, va scemando (§ 136), per modo che, ad alta temperie, il solido non è più bagnato dal liquido: anzi, prevalendo allora in questo la coesione all'adesione, ei tende a staccarsi dal solido e ad assumere una figura globosa o sferoidica (b). E cotesto distacco è favorito dalla formazione d'uno strato di vapore, che sorregge ed avvolge la goccia, impedendole di ricevere calore per contatto dal solido, e la costringe ad un moto giratorio e di saltellamento e ad una rapida mutazione di figura. Perchè mutansi di continuo la direzione ed il punto d'applicazione della risultante delle sollecitazioni di gravità, di coerenza, di svaporazione e di esterior pressione che s'esercitano su la massa della goccia stessa, e di più quand'essa con qualche parte della propria superficie vien a toccare quella del solido, ne è tosto ricacciata da repentina formazione di vapore. Intanto la goccia riceve solo il calor radiante e quello trasmesso dal circostante vapore, nel mentre ch'essa si raffredda per le calorie tolte dalla continua sua evaporazione, la quale, benchè appaja tranquilla, è pur copiosa, mantenendosi nel liquido in questo stato una temperatura eguale o di pochi gradi inferiore a quella della sua ebollizione. E nondimeno la goccia non si mostra agitata nell'interno, come accade nell'ordinaria ebollizione, perchè riceve calore solo dalla superficie, epperò solo nella superficie avviene la vaporizzazione.

I metalli a superficie pulita e poco ossidabile, come l'argento ed il platino, fers'anco perchè dotati di minima conduttività superficiale pel calore (§ 182), meglio si prestano che il vetro e la porcellana alla produzione di questi fenomeni. E l'alcole e l'etere li presentano a temperature meno elevate che nol faccia l'acqua, perchè più vaporabili di questa.

Qualora il liquido sia intorbidato da polveri coloranti, venendo scemata di molto in esso la conduttività termica superficiale, riesce meno distinto il fatto della lenta svaporazione ad alte temperature del solido. In ogni caso poi quando questo, raffreddandosi, si riduce ad una temperatura eccedente solo 100° o 50° quella dell'ebollizione del liquido, la vaporizzazione si fa rapidissima e fragorosa potendo allora il liquido stesso toccare e bagnare il solido.

(a) Leidenfrost (1756) pel primo si occupò di studiare le particolarità de' curiosi fenomeni che in tal condizione si presentano, e che venner poi svolte da molti altri fisici.

(b) Boutigny chiamò *stato sferoidale* cotesta condizione d'un liquido, volendo significare che per essa s'iano derogate le ordinarie leggi termologiche; laddove le suesposte considerazioni accennano che in questi fenomeni non v'ha nulla di anormale.

Le gocce liquide nella condizione sferoidale, appunto perchè non possono oltrepassare la temperatura della loro ebollizione, danno luogo a talune curiose sperienze (a). Dipende pure dalle menzionate condizioni la spiegazione del fatto che un solido incandescente, tuffato in parte nell'acqua, non la fa sorbollire e nemmeno produce in essa agitazione sensibile, finchè non cessi nel solido lo stato rovente: poichè uno strato di vapore, che tosto si forma intorno al solido immerso e che di continuo si rinnova, mantiene il distacco del liquido dal solido (b).

Umidità atmosferica.

§ 233. L'aria atmosferica, stando in continuo contatto colle acque che bagnano la superficie terrestre, contiene sempre una certa quantità di vapore acqueo, la quale però è assai variabile col mutare delle diverse condizioni meteorologiche (temperatura, direzione dei venti, pressione barometrica, ecc.). Ma il più delle volte questo vapore non raggiunge la rispettiva densità massima, ed allora è trasparente ed incolore, epperò *invisibile*. Talora, poi, la quantità del vapore disseminato nell'aria eccedendo quella richiesta a produrre in esso la massima tensione in rispondenza alla temperatura, accade che una parte di esso si depone su la superficie dei corpi o si rende *visibile* (come nella nebbia e nelle nubi), assumendo quel peculiare stato che denominasi *globulare* o *vescicolare*. È il vapore acqueo che si condensa in forma di globetti sferici, nuotanti in seno dell'aria, e dotati di un poter rifrangente diverso da quello dell'aria, sicchè turbano la trasparenza di questa.

(a) Posando una piccola goccia d'acqua nel mezzo d'una maggior goccia d'acido solforoso mantenuta in condizione sferoidale entro un crogiuolo rovente, la prima si agghiaccia tantosto, come mostrò Boutigny. Faraday ottenne la solidificazione del mercurio, ponendo in un crogiuolo di platino mantenuto rovente una miscela d'acido carbonico solido e d'etere, ed in questa, presentante la forma sferoidale, una capsula metallica contenente 31 grammi di mercurio, che si congelarono in meno di 3". L'acido carbonico liquido bolle a -80° , ed il mercurio si solidifica a $-40^{\circ},5$.

(b) Bellani osservò questo fenomeno con tubetti di vetro incandescenti tuffati in parte nell'acqua; e più facilmente lo si osserva tuffando una verga metallica rovente entro acqua che tenga in soluzione pur solo 0,01 di sapone sopra 1,0 d'acqua. Analogo a questi è il fatto, confermato da molti ed autorevoli osservatori, del potersi impunemente immergere un dito ed anco la mano entro un bagno di piombo, di bronzo o di ferraccio in istato di fusione: è però prudente il tuffare prima il dito in una soluzione di sapone o di sale ammoniaco, ed introdurlo quindi con non troppa rapidità nel bagno rovente, tenendolo per breve tempo.

Per diverse circostanze il vapor acqueo atmosferico invisibile può farsi visibile: per raffreddamento diretto d'una massa d'aria già satura, o press'a poco satura di vapore; per riduzione a minor volume dell'aria medesima; per mischianza di due masse d'aria, entrambe sature, ma a temperature differenti; e per la naturale rarefazione dell'aria calda ascendente verso l'alto dell'atmosfera.

Infatti la tensione del vapore acqueo al massimo di densità aumentando più rapidamente degli incrementi di temperatura, come si è veduto, accade che due eguali masse d'aria, entrambe sature di vapore, le cui temperature e tensioni siano rispettivamente t ed f , t' ed f' , mescolandosi tra loro, ed assumendo una temperatura $t'' = \frac{1}{2}(t+t')$, rimarranno soprassature, in quanto che la tensione f'' corrispondente a t'' sarà minore di $\frac{1}{2}(f+f')$; epperò la densità massima corrispondente a t'' sarà anch'essa minore della semisomma di quelle rispondenti a t e t' .

§ 234. L'*igrometria* (a) si propone la determinazione della quantità di vapor acqueo contenuta in un dato volume d'aria atmosferica. Quando ne contiene tutta la quantità che è compatibile colla tensione massima rispondente alla sua temperatura, si dice essere l'aria al *massimo di umidità*. In tal caso le tavole della tensione del vapore alle diverse temperature forniscono direttamente la deduzione da farsi all'altezza barometrica — quale misura la somma delle forze espansive proprie dell'aria e del vapore — onde avere la parte dovuta alla sola aria: quindi si trova il peso p in grammi del vapore contenuto in un metro cubo di aria mercè la formola (§ 216):

$$(159) \quad p = \frac{0,622 \cdot 1293}{1 + 0,003665 t} \cdot \frac{e}{b},$$

dove e esprime la tensione del vapore corrispondente alla temperatura t che si riscontra nell'aria, e b l'altezza barometrica corretta, essendo e e b valutati colla stessa unità di misura.

Ecco un quadro del peso, in grammi, del vapore acqueo contenuto in un metro cubo d'aria al massimo di umidità, cioè satura di vapore in corrispondenza alle diverse temperature, calcolandolo coi suesposti dati di Regnault.

Temp.	Peso	Temp.	Peso	Temp.	Peso	Temp.	Peso
— 10°	2,283	+ 1°	5,209	3	5,953	5	6,791
— 9	2,475	2	5,571	4	6,360	6	7,247

(a) Dal greco *ὕγρὸς* umido.

Temp.	Peso	Temp.	Peso	Temp.	Peso	Temp.	Peso
— 8	2,678	+ 7°	7,731	16	13,532	25	22,831
— 7	2,896	8	8,234	17	14,367	26	24,144
— 6	3,128	9	8,785	18	15,267	27	25,524
— 5	3,376	10	9,357	19	16,173	28	26,971
— 4	3,638	11	11,962	20	17,148	29	28,489
— 3	3,919	12	10,601	21	18,174	30	30,079
— 2	4,217	13	11,276	22	19,253	31	31,744
— 1	4,534	14	11,988	23	20,387	32	33,490
0	4,869	15	12,739	24	21,579	33	35,317

Poichè, d'ordinario, l'aria atmosferica contiene una quantità di vapore notevolmente minore di quella corrispondente al valor massimo, si chiama *stato igrometrico*, o *frazione di saturazione*, od *umidità relativa* dell'aria il rapporto tra la quantità di vapore effettivamente contenuta in un dato volume d'aria e quella ch'esso dovrebbe contenere per essere al massimo di umidità. E poichè per i vapori aventi densità minori di quelle di saturazione, può tenersi valevole la legge di Boyle, si può ammettere che il peso del vapore, restando invariata la temperatura, sia proporzionale alla sua tensione effettiva e . Epperò l'umidità relativa U dell'aria non satura sarà data dalla formola:

$$U = m \frac{e}{e'},$$

ove e esprime la tensione del vapore alla densità massima corrispondente alla temperatura dell'aria, ed m il valore che vuolsi attribuire al massimo di umidità, valore che talora si piglia uguale ad 1, talora uguale a 100. Nel primo caso può definirsi lo stato igrometrico dell'aria quale il rapporto sussistente fra la tensione effettiva e la tensione massima del vapore diffuso nell'aria. Da ciò si rileva che l'umidità relativa medesima dipende non soltanto dalla quantità assoluta del vapore contenuto nell'aria, ma altresì dalla di lei temperatura.

Si chiamano *igrometri* quegli strumenti ed apparati che servono a valutare direttamente od indirettamente l'umidità relativa dell'aria. I più usati sono: l'igrometro chimico, l'igrometro ad appannamento, l'igrometro a raffreddamento e l'igrometro ad allungamento.

§ 235. Col *metodo chimico*, perfezionato da Brunner, si determina la quantità del vapore acqueo contenuto in un dato volume d'acqua, mediante l'aumento di peso che prova una sostanza igroscopica attraverso la quale si fa filtrare l'aria stessa, giovandosi poi della formola suesposta a pag. 282. Questo metodo è suscettibile di molta precisione; ma lunga e delicata ne è l'applicazione, ed esige appa-

rati molto voluminosi (vedi la figura a pag. 376), sicché male si presta per le consuete osservazioni meteorologiche. Nondimeno esso giova a riscontrare il grado d'approssimazione ottenibile cogli altri metodi meno precisi, ed a determinare il valore delle costanti numeriche che entrano nelle formole relative a quest'altri metodi.

§ 236. La prima idea dell'*igrometro a condensazione* è dovuta agli Accademici del Cimento. Ma Leroy (1751) immaginò un mezzo suscettibile di maggior precisione, che corrisponde propriamente all'*igrometro ad appannamento*, e che fu successivamente modificato e perfezionato da Dalton, Daniell, Belli, Regnault e Connell.

Con questi diversi strumenti trattasi di raffreddare parzialmente l'aria atmosferica, che non è satura di vapore, sino al punto in cui riducendosi satura, si condensa una parte del vapore su di un corpo a superficie molto splendente, il quale perciò si offusca od appanna. Allora, conoscendosi la temperatura t' (a), per cui accade la condensazione o l'appannamento, per mezzo delle suaccennate tabelle (§ 210) si rileva la corrispondente tensione massima e' del vapore; epperò la effettiva tensione e'' del vapore alla temperatura t propria dell'aria lungi dall'influenza raffreddatrice sarà:

$$(160) \quad e'' = e' \frac{1 + 0,003665 t}{1 + 0,003665 t'}.$$

Quindi si determina l'umidità relativa mercè la formola:

$$(161) \quad U = m \frac{1 + 0,003665 t}{1 + 0,003665 t'} \cdot \frac{e'}{e} (b),$$

ed il peso p in grammi del vapore contenuto in un metro cubo di aria, mercè quest'altra:

$$(162) \quad p' = \frac{0,622,1293}{1 + 0,003665 t'} \cdot \frac{e}{b},$$

nelle quali e esprime la tensione massima corrispondente alla tem-

(a) Per questa temperatura t' convien assumere il valor medio tra la temperatura alla quale incomincia l'appannamento col progressivo raffreddamento dello strumento, e quella per cui scompare l'appannamento col consecutivo riscaldamento dello strumento medesimo.

(b) Tutte le volte che la differenza fra t e t' sia meno di 10° — il che accade d'ordinario — può assumersi semplicemente $U = m \frac{e'}{e}$, poichè l'altro fattore, differendo ben poco dall'unità, può trascurarsi.

peratura t ; b la pressione barometrica corretta (a), ed m il valore che si assegna all'umidità massima.

Diremo solo degli igrometri di Daniell, di Regnault e di Belli.

L'apparato di Daniell consiste in due bolle di vetro tra loro comunicanti per un tubo a T: l'una a superficie annerita, l'altra ricoperta da sottil muscola. Nel cavo evvi sol tanto di etere etilico da empire appena la metà d'una delle bolle, essendosi estratta l'aria dal restante vano con preventiva ebollizione del liquido e suggellato poi ermeticamente il tubo. Raccolto dapprima tutto il liquido nella bolla annerita, e bagnata poi con etere l'altra bolla, si provoca in questa tal raffreddamento che fa condensare in essa il vapor d'etere, sicchè il liquido della prima svapora pur rapidamente entro di essa e la raffredda quindi gradatamente sino a che si condensi sulla superior sua superficie il vapore acqueo atmosferico quand'esso riducesi oltre al massimo di

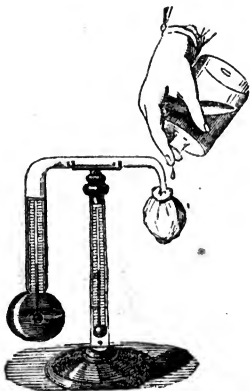


Fig. 169.

densità pel raffreddarsi dell'aria che lambe la superficie stessa. Ed il primo depositarvisi del vapore è reso meglio sensibile a motivo della tinta nerastra del vetro. Un termometrino posto nell'interno di questa bolla segna la temperatura d'appannamento, mentre un altro termometro all'esterno segna la temperatura dell'aria lungi da detta bolla.

Regnault, per rendere meglio discernibile il primo appannarsi della superficie, più pronto o meglio regolato il raffreddamento e più sicura la determinazione della temperatura di appannamento, impiegò due ditali d'argento, applicati al fondo di due tubi di vetro, contenenti ciascuno un termometro: nell'un d'essi poi evvi uno strato di etere, attraverso il quale si fa gorgogliare l'aria atmosferica che vi penetra da un cannello e passa poi nel cavo di un aspiratore, cioè di un vaso dianzi pieno d'acqua, la quale poi sgorgandone dal fondo richiama superiormente l'aria che attraversò il detto tubo. Regolando colla chiave l'efflusso del liquido, si regola l'aspirazione dell'aria e quindi anche la svaporazione ed il raffreddamento dell'etere. Il confronto poi tra l'aspetto dei due ditali d'argento, l'uno de' quali mantienisi alla temperatura dell'aria e l'altro va raffreddandosi, giova

(a) Le tensioni e ed e' , e la pressione b devono valutarsi con una stessa unità di misura.

a rendere più sensibile il primo offuscarsi della superficie di questa ultima per la condensazione del vapore atmosferico (fig. 170).

Ma più agevole riesce l'uso dell'igrometro Belli. Una canna di ferro contiene nell'interno mercurio in cui pesca il serbatoio di un termometro scorrevole con delicato movimento. Il fondo della canna

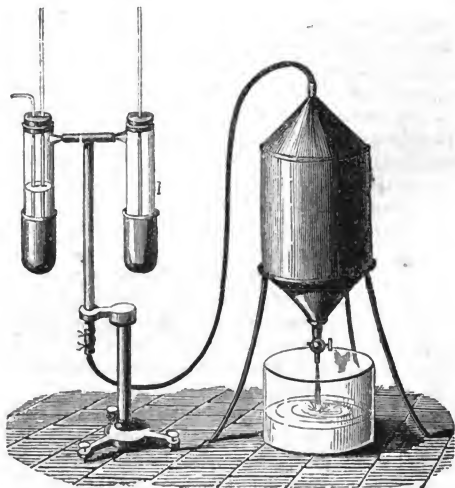


Fig. 170.

pesca in una miscela di ghiaccio e di sale od altra frigorifera, contenuta in un vaso a triplice rivestimento (metallo, legno e metallo splendente), dove essa si va sciogliendo con molta lentezza. Il mercurio, che è nella canna, partecipa al raffreddamento di sotto in su epperò i successivi suoi strati presentano temperature decrescenti dall'alto al basso, talchè l'esterno della canna di ferro, ben terso, mostra il limite tra la parte di essa che mantienisi splendente e quella che va più e più appannandosi per deposizione del vapore atmosferico condensantesi su di essa. Allora si fa scorrere il termometro sicchè il centro della sua bolla (cui risponde un esterno indice sistemato col termometro e mobile con esso) riesca a livello di questo primo limite dell'appannamento, e poco dopo può aversi la ricercata temperatura della condensazione del vapore. Questo apparato ha il vantaggio di poter servire, una volta preparato con opportuna miscela, per parecchie successive osservazioni.

L'igrometro ad appannamento di Regnault se è preferibile pel riguardo della precisione a quelli di Daniell e di Connell, non è però strumento di facile trasporto, e richiede molta diligenza, varj maneggi e non breve tempo (circa 4') per una sola osservazione. Lo igrometro ad appannamento di Belli porge più agevolmente e con maggior sicurezza la temperatura per cui il vapore atmosferico raggiunge la tensione massima; richiede appena 30'' al più per ciascuna osservazione, e si presta non soltanto a determinare l'umidità relativa per un dato istante, ma altresì ad accennarne, in modo continuo, le variazioni per la durata di un intero giorno (a). Ma anche questo, se è opportuno strumento per osservazioni stazionarie, non può riescire appropriato alle esigenze dei meteorologi viaggiatori.

§ 237. Hutton (1784) deduceva l'umidità relativa dell'aria dal confronto tra le indicazioni di due bolle termometriche, una delle quali sia ricoperta d'un velo d'acqua, che, svaporando tanto più attivamente quant'è più secca l'aria, produce un raffreddamento maggiore. È questo il principio su cui si fondano gl'*igrometri a raffreddamento*, i quali vennero accolti favorevolmente dai meteorologi, dacchè August (1825) diede loro una forma comoda e maneggevole, ed esibì una formola abbastanza semplice, col mezzo della quale può calcolarsi la effettiva tensione del vapore atmosferico, e quindi lo stato igrometrico dell'aria. August denominò *psicrometri* da ψυχρός, freddo, codesta foggia d'igrometri.

Su questi strumenti fece importanti osservazioni il Belli. Egli avvertì che le indicazioni loro variano col variare dello stato d'agitazione dell'aria e delle dimensioni della bolla bagnata. Però questi difetti vengono tolti provocando una forte agitazione nell'aria circostante a detta bolla, ed impiegando termometri a bolla molto piccola.

In seguito a questi studi del Belli, il prof. C. Buzzetti e prima lo stesso Belli proposero alcuni apparecchi da applicarsi allo psicrometro per averne indicazioni utili. Più semplice e meno dispendioso è quello ch'io suggerii al *Tecnomasio* di Milano, e che fu poi adottato in molti osservatorii meteorici. Due termometri a serbatoio cilindrico lungo e sottile, sono sorretti da un'asta a T; framezzo ad essi evvi una ruota coll'asse verticale, le cui palette piuttosto larghe giun-

(a) C. Reale (1854) istituì una serie di osservazioni di confronto tra le indicazioni dei detti due igrometri di Regnault e di Belli, e ne risultò un pieno accordo. Però egli stima preferibile d'assai quello di Belli pei suaccennati riflessi. Volle anzi sottoporre a più decisiva prova quest'ultimo igrometro, ponendone a confronto le indicazioni coi dati del metodo chimico, ed ottenne una soddisfacente concordanza, fatto riflesso agli errori inevitabili in questo genere di delicate sperienze.

gono nel loro movimento a lambire assai da vicino, senza toccarli, i detti serbatoi de' termometri. Un sistema d'ingranaggio con elastro,

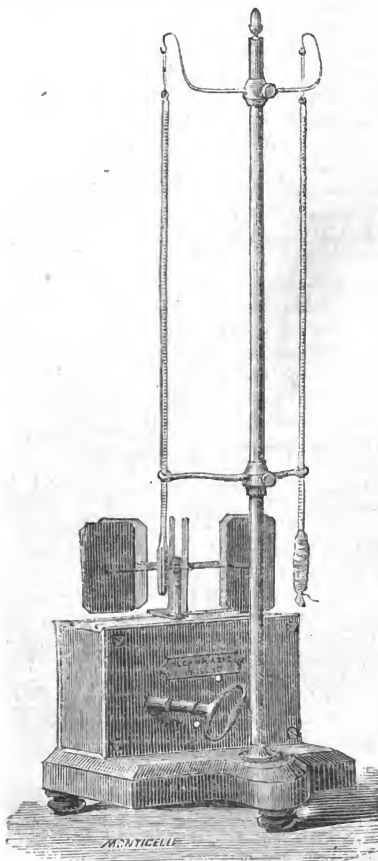


Fig. 171.

che si carica, serve a mantenere per oltre un quarto d'ora un rapido moto nella ruota, talchè l'aria è celeremente rinnovata di contro

a' termometri, ed è favorito lo svaporare dell'acqua colla quale si inumidisce un momento prima dell'osservazione la mussolina che investe l'uno dei detti serbatoi termometrici. Di tal modo si raggiunge prestamente il massimo raffreddamento ottenibile per detta superficie evaporante, corrispondente allo stato igrometrico dell'aria. L'altro termometro a serbatoio nudo ed asciutto porge intanto con assai di precisione la temperatura dell'aria, quanto se fosse girato in fronda.

Questo psicrometro a ventilatore potè dare alcuni risultati veramente paragonabili tra loro per diverse stazioni meteoriche d'Italia; mostrando quanto fossero inesatti i dati precedenti, avuti da psicrometri sguerniti di ventilatore, e peggio poi se questi, come suolsi, hanno termometri a bolla sferica e portano da vicino un serbatoio d'acqua per tenere continuamente bagnata una delle bolle termometriche.

§ 238*. La formola teorica proposta da August è dedotta dal supposto che la quantità di calore ceduta dalla bolla bagnata all'acqua che mano mano evapora sia eguale alla quantità di calore comunicata alla bolla stessa per contatto dallo straterello d'aria che la involge, e che, fatto saturo di vapore e ridotto di subito alla medesima temperatura della bolla, si rinnovi intorno ad essa con una indefinita velocità. Introducendo poi in tal formola per i diversi fattori i valori trovati da Regnault, e recatevi alcune semplificazioni, si ottiene prossimamente:

$$(163) \quad e'' = e' - \frac{600 + 0,475 (t - t')}{0,381 (t - t')} b,$$

dove t e t' indicano le temperature segnate dai due termometri, l'asciutto ed il bagnato, nell'atto che questo raggiunse la minima temperatura; e'' indica la tensione effettiva del vapor acqueo diffuso nell'aria circostante allo stromento; e' la tensione massima del vapore qual è data dalle tavole, in corrispondenza alla temperatura t' , e b l'altezza barometrica corretta nel momento dell'osservazione. Però in luogo della precedente formola può assumersi semplicemente:

$$e'' = e' - 0,000560 (t - t') b,$$

poichè i risultati numerici di quest'ultima differiscono, nelle singole applicazioni, di un centesimo, al più, da quelli dedotti dalla formola completa. Quando però t' sia minore di 0° , cioè quando l'acqua della bolla sia agghiacciata, la precedente ultima formola diventa:

$$(164) \quad e'' = e' - 0,000560 (t - t') b \ (a).$$

(b) In tal caso convien considerare non solo le calorie di vaporizzazione dell'acqua, ma altresì le calorie di liquefazione del ghiaccio, poichè l'acqua che bagna la bolla termometrica per evaporare deve vincere anche la maggior coerenza della forma solida rispetto alla liquida.

Anche Regnault credette necessario di sottoporre a prova le indicazioni dello psicrometro, paragonandole coi dati del processo chimico, in condizioni atmosferiche molto variate. Ed assumendo la formola semplificata col coefficiente a indeterminato, cioè ponendo:

$$e'' = e' - a(t - t')b,$$

venne a determinare i valori del medesimo coefficiente a che, nelle diverse condizioni, riducono in accordo i dati dei due processi.

Egli trovò che la formola teorica di August non è accettabile qual giusta espressione dei fatti, trascurando essa troppe circostanze, pur molto influenti su le indicazioni dello psicrometro. Nondimeno la precedente formola ridotta col coefficiente a indeterminato, rappresenta con bastevole approssimazione le variazioni nello stato igrometrico dell'aria nei climi temperati, qualora il psicrometro sia protetto dall'azione del vento e dei raggi solari diretti, e qualora per ciascuna località si determini accuratamente il valore del coefficiente a col mezzo di esperienze di confronto col metodo chimico o coll'igrometro condensatore. Quando le temperature dell'ambiente sono inferiori o poco superiori a 0° , lo strumento riesce così poco sensibile, da in-

correre in notevoli errori nelle valutazioni, oppure uno stesso coefficiente non soddisfa più egualmente ad osservazioni corrispondenti a stati igrometrici molto diversi.

Però coi suggerimenti del Belli si rimuovono in gran parte codeste difficoltà, scegliendo termometri a serbatoi sottili, agitandovi rapidamente l'aria intorno, e bagnando l'un termometro solo parecchi minuti innanzi l'osservazione, come nello psicrometro a ventilatore.

§ 239. Molti solidi organici sono detti *igroscopici*, in quanto manifestano una tale azione condensatrice del vapor acqueo entro i loro pori, per cui presentano sensibili variazioni nelle loro dimensioni in relazione alla variazione nell'umidità atmosferica. Fra gli *igroscopi* fondati su questo principio ottenne maggior favore l'igroscopio a capello di Saussure. È denominato anche *igrometro ad allungamento*, poichè, aumentando coll'umidità relativa dell'aria la lunghezza del capello, vien divisa in 100 parti tra loro eguali, chiamate gradi, la totale variazione nella lunghezza che esso pre-

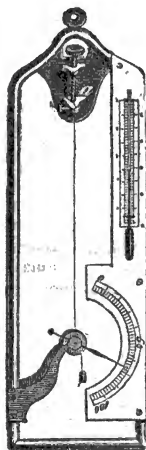


Fig. 172.

senta, passando dalla condizione di estrema secchezza a quella di umidità massima. Saussure si adoperò a segnalare le diligenze da

usarsi, onde le condizioni di questi stromenti riescano abbastanza paragonabili tra loro, ed istituì diverse sperienze per determinare la relazione sussistente tra queste indicazioni e lo stato igrometrico dell'aria: su di che fecero pure accurati studi Gay-Lussac, Prinsep e Melloni.

Ma le notevoli discordanze emergenti fra i dati di questi sperimentatori, tutti abili e diligenti assai, provano non essere precisamente tra loro paragonabili i diversi igrometri a capello, benchè graduati in base agli stessi estremi, sia per alcune lievi differenze nel modo di preparazione de' capelli e di costruzione dello strumento, sia perchè la facoltà assorbente del vapor acqueo varia con diversa ragione ne' singoli capelli. Regnault, eseguendo molte serie di osservazioni di confronto, confermò pienamente questa illazione.

§ 240. Le variazioni nello stato igrometrico dell'atmosfera presentano un'intima relazione con le variazioni nella temperatura e nella pressione dell'atmosfera istessa. Però non si posseggono finora bastevoli serie di osservazioni, fatte in circostanze locali molto svariate, per poter conchiuderne qualche legge generale; giacchè le osservazioni istituite cogli igrometri a capello e coi psicrometri senza ventilatore non hanno molto valore, per le cose dette sopra. Pertanto ci limitiamo a citare i risultati medii delle osservazioni fatte per un novennio (1866-74) a Pavia con uno psicrometro a ventilatore. Esponiamo dapprima il valor medio mensile della tensione del vapor acqueo espresso in millimetri, e della umidità relativa dell'aria, posta 100 l'umidità massima. E di confronto si dà la media mensile della pressione barometrica, ridotta al mare, pure in millimetri, la quale esprime la somma delle forze espansive proprie della sola aria e del vapor acqueo in essa diffuso: epperò, detraendo da essa la tensione del vapore, si ottiene la parte della pressione corrispondente alla forza espansiva dell'aria secca.

espansiva dell'aria secca.

	Temperatura media	Umidità relativa	Tensione del vapore	Pressione dell'aria	
				umida	secca
				in millimetri	
Dicembre. . .	20,3	83,6	4,9	763,6	758,7
Gennaio . . .	0,4	88,9	4,3	64,1	59,8
Febbraio . . .	4,4	85,0	5,3	65,3	60,0
Marzo. . . .	8,3	66,2	5,7	59,8	55,1
Aprile	13,9	59,0	7,2	60,2	53,0
Maggio	16,7	58,1	9,3	60,2	50,9
Giugno	21,7	57,2	11,5	60,6	49,1
Luglio	24,9	56,4	13,7	60,6	46,9
Agosto	22,1	60,8	13,1	64,7	47,6

	Temperatura media	Umidità relativa	Tensione del vapore	Pressione dell'aria	
				umida	secca
				in millimetri	
Settembre .	20,1	65,8	12,0	762,4	750,4
Ottobre . . .	13,1	75,3	9,2	62,4	53,2
Novembre .	6,3	79,4	6,0	61,9	55,9
Inverno . . .	2,4	83,2	4,8	761,3	756,5
Primavera .	13,0	61,1	7,4	60,1	52,7
Estate . . .	22,9	58,1	12,8	60,7	47,9
Autunno . .	13,2	73,5	9,0	62,3	53,3
Anno	12,8	60,0	8,5	761,8	753,3

La tensione del vapore è minima nel mese più freddo dell'anno, in gennaio; cresce poi grado grado coll'aumentare della temperatura sino al luglio, che è il mese più caldo; e poi va decrescendo col diminuire della temperie. Per converso l'umidità relativa è massima in gennaio e minima nel luglio. Coll'elevarsi della temperie, benché cresca l'evaporazione dell'acque bagnanti la superficie terrestre, e quindi la quantità del vapore sparso nell'aria, aumenta però in una ragione più rapida la tensione massima del vapore istesso, talchè riesce crescente la secchezza dell'aria. E, quando la temperatura diminuisce, la quantità dell'acqua che dall'aria si precipita sotto forma di pioggia, di rugiada, di brina e di neve riesce molto maggiore di quella che passa nell'aria stessa per evaporazione. Intanto, essendo la densità del vapor acqueo minore di quella dell'aria secca, in eguali condizioni di pressione e di temperatura, accade che la pressione dell'aria sola riesce crescente dall'estate all'inverno e decrescente da questa alla prima stagione. Invece, per l'aria umida, la pressione è minima in primavera e massima nel verno.

Un andamento sensibilmente analogo tengono l'umidità relativa e la pressione barometrica ne' diversi paesi, ne' quali sonosi finora istituite esatte osservazioni su questo proposito.

§ 241. Il vapor acqueo atmosferico, rendendosi visibile per alcuna delle condizioni sovranotate (§ 233), dà luogo a quei fenomeni che diconsi *nebbie* o *nubi*, secondo che accadono negli strati d'aria dove sta l'osservatore, oppure negli strati superiori. Le nubi, a motivo della varia loro altezza, grossezza, densità e forma, intercettando o riverberando differenti quantità di luce, ci presentano tinte assai svariate. Howard propose una classificazione delle forme delle nubi, accettata da molti meteoristi. Distinse tre forme principali: il

cirro, il cumulo e lo strato; e quali forme di trapasso fra queste, il cirro-cumulo, il cirro-strato ed il cumulo-strato (a).

L'altezza in cui si tengono le nubi è variabile molto. Il cirro si leva a maggiori altitudini delle altre nubi. Le consuete altezze delle nubi son comprese fra metri 500 e 3 mila. I cirri giungono ad altezze molto maggiori, da 5 a 12 mila metri. Le nubi temporalesche sono le più basse. Ed, in generale, d'inverno le nubi sono meno alte che nella state, e nei paesi caldi sono più elevate che nei freddi.

La pioggia, risultante dalla condensazione e precipitazione del vapor acqueo atmosferico, cade in forma di gocce, di grossezza variabile secondo l'altezza delle nubi e secondo le differenze nella temperatura degli strati attraversati. Si denominano *ombrometri*, od *udometri* (da ὄμβρος, pioggia, ed ὕδωρ, acqua), ed anche *pluviometri*, gli stromenti che servono a determinare la quantità dell'acqua caduta in un dato tempo ne' diversi luoghi.

La quantità dell'acqua cadente in forma di pioggia, di neve, di grandine, ecc., ha relazione non solo colla latitudine del paese, ma ancora colla prossimità o lontananza del mare, coll'altitudine, colla direzione dei venti dominanti e colla postura, rispetto alle catene dei monti. In generale, l'acqua cadente cresce colla temperatura dei paesi: massima all'equatore, va decrescendo coll'aumentare della latitudine e dell'altitudine sul livello del mare. In vicinanza ai mari è maggiore che nell'interno de' continenti. Epperò dove alti monti impediscono l'arrivo de' venti marittimi o li spogliano della loro umidità, minore riesce l'acqua cadente.

Per una stessa località è notevole la differenza nella quantità dell'acqua cadente a diverse altezze sul suolo. In generale, diminuisce tal quantità coll'elevarsi sovra il suolo, e più sentitamente quant'è men calda l'aria: quindi più assai nel verno che nella state.

Allorchè il vapor acqueo si condensa in tali strati, ove la temperatura sia inferiore a 0°, l'acqua, solidificandosi, forma la *neve* o la *grandine*. Se la condensazione del vapore è lenta e graduale,

(a) I *cirri*, o *code di gatto*, sono nuvolette a sottili striscie, ora ondegianti e parallele, ora intralciate a guisa di rete. I *cumuli*, od *ammassi di cotone*, sono nubi raccolte, rotonde superiormente e quasi emisferiche; e talora addossate le une su le altre. Gli *strati* sono nubi a lunghe falde orizzontali. Il *cirro-cumulo* è formato da nuvolette tondeggianti, le quali, ove siano disposte in file vicine e regolari, offrono quell'aspetto che dicesi *cielo a pecorelle* od *a pagnotte*. Il *cirro-strato* è una nube rara e distesa, somigliante ad una falda di cotone cardato. Il *cumulo-strato* è una estesa striscia di densi e fitti cumuli. Un confuso ammasso di cumulo-strati, a limiti irregolari ed a tinta grigiastrea, costituisce il *nembo*, apportatore di dirotte piogge o di temporale.

l'acqua cristallizza regolarmente e dà i fiocchi di neve, le cui forme, benché svariatissime, provengono tutte dalla riunione di molti e sottili aghi di ghiaccio comprendenti tra loro angoli di 60° , di 90° o di 120° : però la forma predominante è quella di stellette a 6 raggi con ramuscoli secondari e simmetrici. Ma affinché la neve giunga al suolo bisogna che anco gli strati aerei da essa attraversati, cadendo, abbiano una temperatura inferiore o di poco superiore a 0° : se non che tanto minore è la quantità della neve caduta, quant'è più bassa la temperatura dell'aria, epperò minore la copia del vapore in esso diffuso. Qualora l'aria ove si condensa il vapore sia molto agitata, la condensazione stessa, accadendo rapidamente, produce alcuni piccoli grani nevosi, nei quali gli aghi sono stipati confusamente (nevischio), oppure produce i grani di grandine. Questi ultimi raggiungono talora notevoli grossezze, e sono d'ordinario formati da un nucleo nevoso, contornato da strati concentrici di ghiaccio, alternativamente diafani ed opachi.

§ 242. Quando l'atmosfera è calma e serena, tosto dopo il tramonto del sole, la superficie del suolo e dei vegetali, che sorgono su di esso, avendo una distinta conduttività termica superficiale, irradiano mano mano, verso i freddi spazi celesti, il calore guadagnato durante il giorno, e si raffreddano perciò ad un grado più basso che nol faccia l'aria, dotata d'una men debole facoltà irradiante. Intanto l'umidità relativa dell'aria va di continuo crescendo col raffreddarsi di questa: anzi gli strati infimi e contigui al suolo si rendono notevolmente più freddi, e quindi più prossimi alla tensione massima degli strati sovrastanti, pur a poca altezza. In breve su la superficie dei detti corpi vien depositandosi parte del vapor acqueo diffuso nell'aria ambiente, che denominasi *rugiada*, la quale sarà più copiosa per gli anzidetti strati infimi, e quindi sul suolo e su l'erba che lo ricopre (a). Ma, lorquando l'atmosfera è ingombra di nubi o di nebbie, oppur l'aria è vivamente agitata per vento, non verificandosi le predette condizioni, poco o punto si condensa di vapore. Qualora poi la rugiada tocchi una temperatura inferiore a 0° , agghiacciandosi in aghi cristallini, dà la *brina*.

Wells (1814) propose una teoria della rugiada, che venne in qualche parte rettificata da Fusinieri (1831) e dal Melloni (1844). Wells ritenne effetto puramente dell'irradiazione la differenza fra la tem-

(a) E più abbondante, in generale, sarà la rugiada in quelle epoche dell'anno nelle quali si riuniscono le seguenti circostanze: notti lunghe, serene e calme, molta umidità relativa dell'aria, ed elevata la temperatura di questa, e quindi notevole la quantità del vapore in essa diffuso. Nell'autunno si verificano insieme le dette circostanze, meglio che in altra stagione.

peratura d'un termometro, posto appena al disopra del suolo, ed altro sospeso all'altezza di poco più d'un metro, differenza che talora giunge a 4° ed anco a 7°, non tenendo conto della temperatura propria degli strati infimi dell'aria. Fusinieri, confermando un'osservazione di Pictet, notò che lo straterello d'aria ricoprente la terra o la piota o la neve è il più freddo di tutti i sovraincumbenti, e che a pochi millimetri di profondità, la terra, la piota o la neve conservano una temperatura di alcuni gradi superiore a quella dell'anzidetto straterello sovrastante di aria. Melloni trovò che due termometri, la superficie d'uno dei quali abbia il massimo potere radiante e l'altra il minimo, situati nello stesso strato orizzontale d'aria, in una notte placida e serena, e pur sotto l'aere limpidissimo di Napoli, indicano una differenza di temperatura che non giunge a 2°, e questa differenza è sensibilmente costante, qualunque sia la loro distanza dal suolo e la temperatura dell'aria. Laddove, ponendo due termometri conegual superficie, l'uno nello strato d'aria dove sporgono le estreme foglie dell'erba, evitandone però il contatto, e l'altro all'altezza di metri 1,3, trovò che quest'ultimo mantienisi, nelle circostanze favorevoli, ad una temperatura di 8° a 10° superiore a quella dell'altro. Pertanto, conchiude il Melloni, l'aria, oltre allo scarso suo irraggiamento, colla propria fredda temperatura, stagnando sul suolo, esercita un'efficace influenza sul fenomeno del raffreddamento del suolo stesso, e quindi sulla formazione della rugiada. A suo credere, questo raffreddamento proviene da una serie di azioni e reazioni della superficie irradiante su l'aria contigua e di questa su quella, per cui scambievolmente l'una raffredda l'altra, nel mentre che fra le loro temperature deve serbarsi una costante differenza.

Macchine motrici a vapore.

§ 243. La ragguardevole forza espansiva spiegata dal vapor acqueo alle temperature prossime a 100°, e la facilità con che se ne ottiene lo sviluppo dall'acqua bollente, suggerirono, da tempo, l'idea di adoperarlo quale forza motrice.

Nella storia dell'invenzione di quelle efficacissime *motrici* che, in genere, diconsi *a vapore*, perocchè la tensione d'un vapore v'è impiegata qual potenza motrice, vanno ricordati i tentativi di Erone (circa 120 anni avanti l'era volg.), di G. B. Porta (1606), di Salomone di Caus (1615), di Giovanni Branca (1629), di Edoardo Worcester (1663), di Cristiano Huygens (1680), di Dionigi Papin (1687), di Tommaso Savery (1696), di Newcomen e Cawley (1705), e ancora di Papin (1707 e 1724). Ma sovra tutti meritasì nome d'inventore Giacomo Watt

(1765-82), il quale recò sì importanti e sì numerose modificazioni ai congegni proposti dai suoi antecessori, da tramutarli in quel meccanismo, complicato e pur ingegnossimo in ogni sua parte, che tuttodì denominasi macchina a vapore a doppio effetto di Watt. Questa, senza grave dispendio, svolge una forza motrice poderosissima e nondimeno tanto maneggevole, da prestarsi agli intenti più disparati ed alle più svariate circostanze.

Nelle motrici *a doppio effetto* la stessa forza espansiva del vapore, mercè un opportuno congegno, chiamato *cassetto distributore*, sospinge alternativamente in due contrari versi un embolo scorrevole entro un recipiente cilindrico, chiamato *cilindro*: mentre in quelle ad *effetto semplice* il vapore opera per muover l'embolo in un solo verso, essendo questo sospinto nel verso opposto dalla pressione atmosferica.

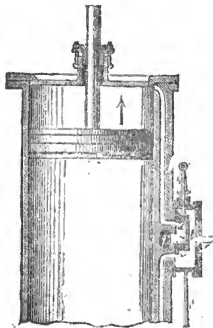


Fig. 173.

Chiamasi *tensione assoluta* del vapore svolgentesi in una caldaja la misura della sua propria forza espansiva, per la quale esercita una equivalente pressione contro l'interne pareti della caldaja stessa, e si dice *tensione utile* od *efficace* l'eccesso della tensione assoluta su la pressione atmosferica esterna, oppure su la

pressione che si oppone al movimento dell'embolo nel verso in cui opera la tensione del vapore.

Le motrici a vapore si dicono a *bassa*, a *media* e ad *alta pressione*, secondo che la tensione assoluta del vapore nella caldaia è minore di due atmosfere, oppure compresa fra 2 e 4 atmosfere, oppure superiore a 4 atmosfere.

Si chiamano poi a *condensazione* quelle motrici nelle quali il vapore, dopo aver sospinto l'embolo all'un estremo della sua corsa, si precipita in un recipiente mantenuto freddo, liquefacendovisi. Le motrici ad effetto semplice, ed in genere quelle a bassa pressione, sono munite d'un condensatore; quelle ad alta pressione ponno essere *senza condensazione*, poichè il vapore, dopo aver operato, si diffonde liberamente nell'atmosfera. Il refrigerante o condensatore è di solito mantenuto a bassa temperatura coll'iniettarvi acqua fredda, la quale vuol essere di continuo rimutata, venendo man mano scaldata dal condensarvisi del vapore.

La precedente figura rappresenta l'insieme delle parti più importanti di una motrice fissa a bassa pressione ed a condensazione: quali

sono: il cilindro, il bilanciere, la biella, il volante, il moderatore a forza centrifuga, la tromba d'alimentazione ed il condensatore.

Quando il vapore continua ad affluire nel cilindro durante l'intera corsa dell'embolo, la macchina è detta *senza espansione*; laddove

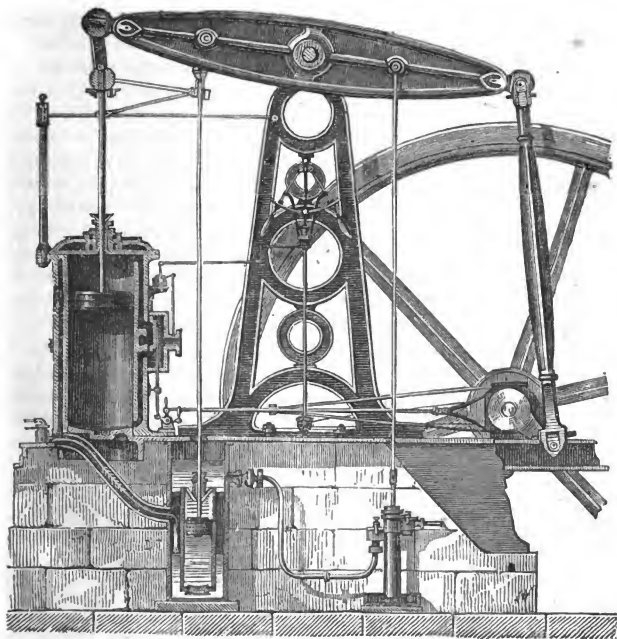


Fig. 174.

nelle macchine *ad espansione* il vapore soltanto per un tratto della corsa dell'embolo passa liberamente dalla caldaia nel cilindro, premendo su l'embolo coll'intera sua tensione, poi venendo intercettato codesto passaggio, il vapore già entrato continua a sospingere l'embolo colla propria espansività, riducendosi però ad una tensione proporzionatamente minore.

Il *lavoro motore teorico* (cioè il potere dinamico valutato astrattamente, senza riguardo alle perdite di lavoro cagionate dagli at-

triti e dalle varie resistenze fra le parti della macchina) dato da un chilogrammo di vapore, quando operi senza espansione, sarebbe rappresentato dalla :

$$(165) \quad L_m = V' (n - n'),$$

posto L_m il lavoro motore teorico o potere dinamico (vedi § 184), espresso in grandi dinamodi, V' il volume in metri cubi d'un chilogrammo di vapore operante su l'embolo alla tensione assoluta n , espressa questa coll'altezza in metri della colonna d'acqua a 4° che produce un'equivalente pressione su l'unità di superficie, ed n' la pressione, similmente espressa, che si esercita dall'atmosfera o dal vapore residuo contro l'altra faccia dell'embolo e nel verso contrario al moto utile dell'embolo stesso. Qualora da questa banda si potesse operare un vuoto perfetto, sarebbe $n' = 0$. Colla condensazione ottenesi per n un valore piccolo, corrispondente alla tensione massima cui riducesi il vapore sotto la bassa temperatura alla quale può tenersi il refrigerante. E quando non siavi condensazione, cioè quando il vapore si sfoga poi nell'aria, può ritenersi in generale $n' = 10,333$, corrispondente alla pressione d'un'atmosfera (pag. 161).

L'effetto dinamico *pratico*, che può ottenersi da una motrice a vapore, differisce dal lavoro motore teorico, per riguardo non solo agli attriti ed alle resistenze opposte alla comunicazione del moto fra le varie parti della macchina stessa, ma per riguardo ancora ad altre circostanze, e segnatamente per la comunicazione di calore fatta all'esterno dal vapore nel passare dalla caldaia al cilindro, e per la pressione contraria al moto dell'embolo che si esercita dal vapore uscente dal cilindro, in quanto, per l'angustia dello sfogo, non può ridursi esattamente alla forza espansiva corrispondente alla temperatura del condensatore od alla pressione dell'aria esterna. Quindi il lavoro motore pratico L'_m , in grandi dinamodi, quando non siavi espansione, è espresso da :

$$L'_m = k V' (n - n').$$

essendo k un coefficiente numerico relativo alle resistenze passive della macchina, al modo di operare della medesima piuttosto a condensazione o senza, ad espansione o senza, ed alla forza della macchina stessa.

L'effettivo lavoro motore d'una data macchina può determinarsi direttamente a mezzo del freno dinamometrico di Prony o di altri dinamometri di recente invenzione.

§ 244. Le caldaie delle macchine devono esser costrutte con pareti robuste per reggere alla pressione del vapore, devono presen-

tare una estesa superficie alle fiamme riscaldanti, affinché copiosa e rapida sia la produzione del vapore, e devono essere munite degli opportuni mezzi per indicare ad ogni istante la tensione del vapore ed il livello dell'acqua, all'uopo di prevenire possibilmente le esplosioni.

Onde poi favorire la produzione del vapore si aggiungono alla caldaja o si immettono in essa dei tubi che, investiti od attraversati dalle fiamme, aumentano la superficie di quelle porzioni delle pareti che nell'interno sono in contatto coll'acqua e nell'esterno colle fiamme. Nelle motrici fisse s'usano due tubi bollitori situati inferiormente alla caldaja, comunicanti con essa, ed investiti più direttamente dalle fiamme, come facilmente si comprende dalle figure 175 e 176.

Però, in generale, la quantità di vapore formantesi in un dato tempo corrispondendo alle calorie che in egual tempo ricevonsi dall'acqua

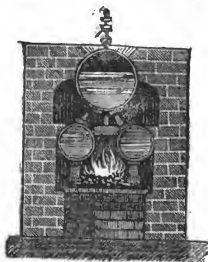


Fig. 175.

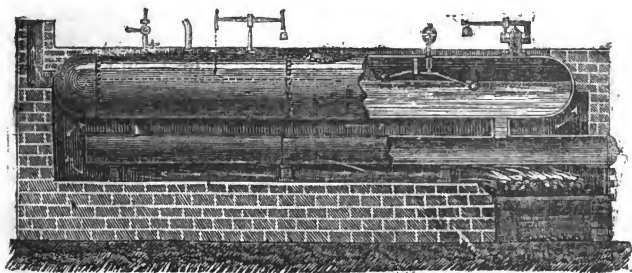


Fig. 176.

contenuta nella caldaja, oltre la estensione delle pareti toccate dalle fiamme, avranno influenza sulla detta quantità anche la grossezza e la conduttività termica delle pareti della caldaja, e la vigoria del fuoco, dipendente dalla natura del combustibile e dalla rapidità di afflusso dell'aria nel fornello.

Affinché la quantità del vapore, che passa nel cilindro ad ogni corsa dell'embolo, sia commisurata a quella che in pari tempo si produce nella caldaja, bisogna regolare la combustione nel fornello,

sicchè la tensione del vapore nella caldaja si mantenga sensibilmente costante, e giova che la *camera* superiore della caldaja, ove si aduna il vapore, abbia una capacità da 15 a 20 volte quella del cilindro.

E per rilevare di continuo la tensione del vapore si adopera un *manometro a mercurio*, la cui vaschetta comunica coll'anzidetta camera del vapore, e che funziona ad aria libera o ad aria chiusa, secondo che la macchina è a bassa o ad alta pressione. Ma d'ordinario s'adopera, come più semplice e meno fragile, il *manometro metallico* di Bourdon (pag. 180) (a). Talora si dispone pure nella caldaja un *termometro a mercurio*, il quale porta segnate le tensioni del vapore in corrispondenza alle diverse temperature.

E perchè poi un eccessivo riscaldamento del liquido e quindi una soverchia tensione del vapore non comprometta la tenacità delle pareti della caldaja, facendola scoppiare, vien questa munita di una *valvola di sicurezza a peso*, e talora anche di *piastra fusibile*. La prima apresi lorquando la tensione eccede una misura prestabilita, in relazione alla superficie direttamente scaldata della caldaja e degli annessi tubi, ed alla tensione assoluta del vapore in atmosfera. La piastra fusibile è costituita da una lega di bismuto, stagno e piombo, fissando la proporzione in peso di questi metalli, secondo la tensione massima alla quale essa deve resistere.

A prevenire poi un infuocamento parziale delle pareti, conviene che il liquido sia mantenuto nella caldaja ad un livello alcun po' superiore a quelle parti delle pareti stesse che sono direttamente toccate dalle fiamme. Per raggiungere codesto intento, nelle macchine fisse, si usa munire la caldaja di un galleggiante che fa aprire il *fischietto d'allarme*, qualora il detto livello si abbassi tropp'oltre, ed un altro *galleggiante* che indica esteriormente e ad ogni istante la situazione di tal livello; la quale è pure indicata da un tubo di vetro, operante a guisa di *livello ad acqua*, e da due *robinetti*, fissati a tali altezze che fra essi debba sempre trovarsi il livello anzidetto. L'acqua che mantiene il liquido nella caldaja entra verso il fondo di questa, sospintavi da apposita tromba premente, detta d'*alimentazione*.

Evvi infine nella parte superiore della caldaja un'*apertura circolare*, con adatta piastra di chiudimento, per la quale un operajo può entrare in essa a ripulirla dagli incrostamenti di materie salino-terrose depositate dall'acqua evaporantesi, ciò che può diventar causa

(a) La graduazione di codesto manometro dev'essere però tratto tratto verificata, variando col tempo il coefficiente d'elasticità del tubo metallico, le cui varie inflessioni accennano le variazioni nella tensione del vapore in esso contenuto.

di esplosione. Il fenomeno di Leidenfrost (§ 232) rende ragione delle esplosioni dovute ad infuocamento parziale o ad incrostamento delle pareti, producendosi d'un tratto una straordinaria copia di vapore per codeste circostanze.

§ 245. La condensazione del vapor acqueo in opera d'un refrigerante, la quale riesce vantaggiosa per le macchine a bassa pressione, torna meno proficua per quelle ad alta pressione. Basta a tal uopo richiamare la (165), e, profittando di quanto si espose al § 184 circa il volume relativo d'un vapore, s'avrà:

$$V_1 = \frac{1 + \delta t}{a d p},$$

posto V_1 il volume in metri cubi di un chilogrammo di vapore alla tensione assoluta a del vapore espressa in atmosfere. E poichè $d = 0,622$ pel vapore acqueo, e per l'aria $p = 1,293$, s'avrà:

$$(166) \quad V_1 = 1,2434 \frac{1 + \delta t}{a}.$$

Ora per mettere in evidenza in quanto e quando sia vantaggiosa la condensazione del vapor acqueo in una macchina motrice, gioveranno i seguenti valori:

Tensione in atmosf.	Temper. di vaporiz.	Volume d'un chil. di vapore	Lavoro motore L ^m d'un chil. di vapore quando		Differenza
a	t	V_1	$n=0$	$n=10,333$	
1,0	100°0	1,6997	17,66	0,00	17,66
2,0	120,6	0,0969	18,54	9,27	9,28
4,0	144,0	0,4748	19,62	14,72	4,90
6,0	159,2	0,3283	20,36	16,96	3,40
8,0	170,8	0,2529	20,90	18,29	2,61
10,0	180,3	0,2066	21,35	19,22	2,13

Laonde, con una macchina a vapore ad otto atmosfere di tensione, senza condensazione, s'ottiene da una caloria un effetto utile un po' maggiore di quello che s'avrebbe con altra macchina nella quale la condensazione fosse perfetta e col vapore alla tensione assoluta d'un'atmosfera. E pur quando il vapore si produce con una tensione appena maggiore di sei atmosfere, la condensazione non offre più un notevole vantaggio, come già la pratica l'ebbe dimostrato. Poichè l'eccesso di effetto utile dato dalla condensazione (il quale è di chilogrammi 5,18 pel caso che il vapore si generi a 6 atmosfere di pressione) va in gran parte perduto pel lavoro resistente correlativo

al rimutar l'acqua nel refrigerante ed al superare la pressione nociva incontrata dall'embolo, in causa della tensione residua del vapore all'atto che esce dal cilindro per passare nel condensatore, e dell'aria che svolgesi dall'acqua mano mano che essa penetra nel refrigerante stesso.

Importa che l'acqua nel condensatore non si scaldi molto, affinché risulti minore la tensione del vapore che entra in esso. Ora la quantità d'acqua che dovrà farsi transitare nel refrigerante sarà tanto maggiore, e quanto più bassa vuolsi che si tenga in esso la temperatura, e quanto più grande sarà la densità, ossia la tensione del vapore che viene a condensarvisi, cedendo all'acqua le proprie calorie di elaterio e di coesione. Così se l'acqua nel refrigerante non deve scaldarsi oltre t_1 , entrandovi con una temperatura t minore di t_1 , bisognerà introdurre nel condensatore una quantità Q di acqua per ogni peso P di vapore che venga a liquefarsi ed a cedervi le proprie calorie totali C_1 , cosicchè sia:

$$(167) \quad Q = P \frac{C_1 - t_1}{t_1 - t}.$$

Ora le quantità C_1 e P vanno crescendo col crescere della tensione del vapore. Ad esempio: se l'acqua entra a 15° nel condensatore, e vuolsi che non si scaldi oltre i 50° , per ogni chilogrammo di vapore alla tensione di 6 atmosfere da condensarsi richiederannosi chilogrammi 17,3 d'acqua, ovvero chilogrammi 52 d'acqua per ogni metro cubo di vapore che a tale tensione passa pel cilindro (poichè a 6 atmosfere un chilogrammo di vapore occupa appunto un terzo di metro cubo, come nella tabella a pag. 421). E frattanto il vapore, nel condensatore, serbandosi a 50° , spiegherà ancora una tensione nociva di millim. 92 di mercurio, ossia di met. 1, 25 d'acqua: talchè il lavoro motore L_m di un chilogr. di vapore, per ciò solo, si ridurrà a chilogrammetri 16,94 invece di 20,40.

Anche l'aria, che sta condensata nell'acqua fredda introdotta nel condensatore, sotto la debole pressione del vapore ivi diffuso, svolgesi in gran parte, e colla propria forza espansiva fa crescere la pressione nociva in su l'embolo. L'acqua corrente di fiume o di canale, in istagione non calda, contiene circa un ventesimo del proprio volume di aria. Forma dunque ancor essa un notevole ostacolo ad ottenere una proficua condensazione, quando molt'acqua deve passare per la limitata capacità del refrigerante.

§ 246. Fin qui le macchine a vapore, guardate sotto l'aspetto dell'utilizzazione della forza motrice prima, quella che si paga direttamente, cioè il calore impiegato a generare il vapore, si mostrano

ben poco vantaggiose per rispetto ad altre macchine, nelle quali la potenza motrice è altra forza naturale, che il più delle volte non si paga direttamente, quale è la gravità (a).

Però a rimediare per molta parte a codesto svantaggio delle macchine a vapore, vennero applicati i due principii fecondissimi dell'espansione e del surriscaldamento del vapore, dei quali basterà qui dare un cenno, con riguardo al vario effetto utile del calore impiegato a produrre il vapore.

Il principio dell'espansione del vapore diede assai proficui risultati nelle macchine termodinamiche. Lorchè il vapore, lasciato entrare nel cilindro colla sua tensione massima solo per un tratto della corsa utile dell'embolo, vien nel restante tratto ad espandersi, scemando di densità e di forza espansiva, come farebbe un gas, una parte delle calorie di temperatura del vapore stesso — il quale nell'atto che s'espande si raffredda, — vengono direttamente utilizzate, trasformandosi in lavoro motore (b).

Per una macchina ad espansione comunemente si calcola il lavoro motore teorico L'_m di un chilogrammo di vapore colla formola :

$$(168) \quad L'_m = V_i (n - n_i) \left(1 + 2,3026 \log. \frac{s}{s_i} \right),$$

ove s indica la corsa totale dell'embolo, presa per unità di misura la parte s_i di corsa, nella quale non è concessa l'espansione al vapore, passando questo liberamente dal generatore al cilindro (c).

(a) Le ruote idrauliche mosse in opera della gravità sono più utili che le macchine a vapore, quando almeno in queste non s'usi la espansione. Anche nelle più sfavorevoli condizioni le ruote idrauliche producono di lavoro effettivo almanco 0,50 del lavoro teorico; nelle migliori condizioni di forma e di posizione ne utilizzano invece sino a 0,75.

(b) Clausius e Rankine nel 1851 furono teoricamente condotti a prenunziare un fatto assai curioso, verificato poi sperimentalmente da Hirn nel 1853, che cioè il vapor acqueo contenuto in istato di densità massima in un vaso impervio al calore si sovrassatura, ossia si riduce in parte allo stato liquido, allorchè è fatto espandere senza comunicazione di calore. Perciò, coll'espansione del vapore, s'ottiene un'usufruzione di calore proporzionalmente maggiore di quella che s'avrebbe coll'espansione d'un gas a pari tensione.

(c) Ecco i valori del prodotto $2,3026 \frac{s}{s_i}$ corrispondenti ad alcuni valori del rapporto $\frac{s}{s_i}$:

Valori $\frac{s}{s_i}$	2	3	4	5	6	7	8	9	10
id. prodotto	0,693	1,098	1,386	1,609	1,791	1,946	2,079	2,197	2,303.
Differenze		0,405	0,288	0,223	0,182	0,155	0,138	0,118	0,106

Epperò, oltre un certo grado, l'espansione offre poco rilevanti incrementi nell'effetto utile coll'aumentarne il rapporto.

Ond'è evidente che quanto maggiore sarà il rapporto $s:s$, tanto maggiore sarà, astrattamente parlando, l'effetto utile. Ma, praticamente, si incontra presto un limite, correlativo alle soverchie ineguaglianze nella velocità dell'embolo dipendenti dalle variazioni nella pressione dal principio al finire della corsa: poichè da queste sorge un aumento nelle interne resistenze della macchina stessa.

Nelle macchine locomotrici (che son tutte ad alta pressione, senza condensazione e con espansione), importando la produzione d'una gran

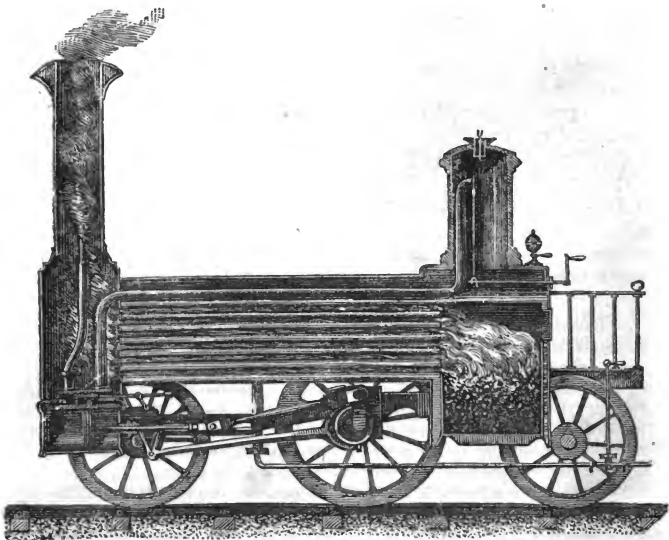


Fig. 177.

quantità di vapore in un dato tempo, un gran numero di tubi bollitori attraversa direttamente l'acqua contenuta nella caldaia, e per attivare la combustione nel focolare, si favorisce la tirata d'aria, inviando nel fumaiolo un vivo getto di vapore (fig. 177).

§ 247. Anche il surriscaldamento del vapore, teoricamente almeno, si mostra assai vantaggioso. Prodotto che sia il vapore alla densità ed alla forza espansiva massima corrispondenti alla temperatura t , facendolo poi passare a contatto di estesa superficie metallica infuo-

cata (d'ordinario gli si fanno attraversare alcune reticelle metalliche infuocate), se ne aumenta la forza espansiva a modo d'un gas, scaldandolo da t a t' . Quindi il volume V_{II} di un chilogrammo di vapore a t' ed il lavoro motore teorico L''_m di esso, saranno esprimibili rispettivamente da:

$$(169) \quad V_{II} = \frac{1 + \alpha t}{\alpha d p} \left[1 + \alpha (t' - t) \right],$$

e da:

$$(170) \quad L''_m = V_{II} (n - n_i);$$

ritenendo le notazioni precedenti.

Così, ad esempio, pel vapore acqueo saturo a 4 atmosfere, per cui $t = 144^\circ$, e surriscaldato poi a $t' = 417^\circ$, essendo $t' - t = 273^\circ$, e ritenendo $n_i = 10,333$, cioè un'atmosfera, si avrà $V_{II} = \text{met. } 0,9496$, e quindi $L''_m = 29,43$ chilogrammetri (a).

E più ancora può tornar proficuo codesto riscaldamento, qualora il vapore, dopo essersi scaldato a t' e dopo aver operato sull'embolo motore, venga ricondotto alla pristina temperatura t , mercè un *rigeneratore del calore*, fatto di tele metalliche, ripassando per le quali, in verso contrario al primo, il vapore cede l'eccesso di calore

(a) Convien qui avvertire che il calore voluto a scaldare di 1° un chilogrammo di vapore acqueo già formato ed espandentesi ($c = 0,475$) è maggiore di quello (0,305), che s'è visto sopra (§ 223) richiedersi per produrre un chilogrammo di vapore acqueo ad 1° di più di temperatura, comunicandolo direttamente all'acqua. Questa differenza in più per lo scaldamento diretto del vapore, a confronto dello scaldamento e vaporizzazione dell'acqua, cioè delle calorie totali di produzione del vapore, potrà ad un primo aspetto sembrare in opposizione a quanto si disse poc'anzi circa alla grande coesione del liquido rispetto a quella del vapore. Ma la difficoltà si risolve tosto, ponendo mente al ben diverso effetto utile che il calore può dare nei due casi. Nel primo, mentre s'aumenta la temperatura dell'acqua vaporizzantesi, diminuisce sensibilmente il volume del vapore prodotto a saturazione con un chilogrammo di acqua: epperò decresce il valore di uno dei fattori che esprimono il lavoro motore ottenibile, intanto che l'altro fattore (la tensione) offre un aumento. Nel secondo caso invece, scaldando direttamente il vapore, questo cresce anch'esso di volume, e quindi uno dei fattori del detto lavoro aumenta, mentre l'altro rimane costante. Così, nel succitato caso, vaporizzando l'acqua, si richiedono 650,4 calorie affinché un chilogrammo di vapore saturo alla tensione di 4 atmosfere, senza condensazione e senza espansione produca un lavoro di 14,72 dinamodi; laddove con 129,7 calorie, cioè con un quinto delle prime, surriscaldando lo stesso vapore, si ottiene un aumento di lavoro eguale al precedente. Perciò, a pari consumo di calore, l'effetto del surriscaldamento del vapore sarebbe, nelle dette condizioni, quintuplo di quello ottenibile collo scaldamento dell'acqua vaporizzantesi.

che in esso residua sovra t ; siccome venne fatto nelle macchine di Siemens, ad imitazione di quelle di Ericson. In allora il vapore stesso, venendo di nuovo surriscaldato, utilizza ancora parte del calore ceduto al rigeneratore, ed evvi soltanto da riparare alla quantità di calore ceduta dal vapore all'embolo nell'imprimergli moto, cioè trasformandosi in lavoro.

Tuttavia siffatte macchine incontrano sinora poco favore nella pratica. E ne son causa, in parte la perdita inevitabile di calore per contatto ed irradiazione, perdita che cresce rapidamente coll'aumentare della temperatura, ed in parte i facili guasti e logoramenti che verificansi nelle pareti metalliche fortemente scaldate.

Però la macchina termodinamica più vantaggiosa, teoricamente, sarebbe quella a semplice riscaldamento d'aria, munita di rigeneratore, analoga a quelle ideate da Stirling e da Ericson. Per essa si evita la notevole perdita di calore onde vincere la coesione d'un liquido, siccome avviene nelle macchine a vapore. Talchè il calore comunicato al gas per aumentarne la forza espansiva può venire in gran parte utilizzato, trasformandolo in lavoro (a).

Ma il dire più addentro di codeste macchine caloriche esce dagli intenti di questi elementi: e d'altronde codesto argomento fu già trattato in modo ampio ed elevato da Rankine, da Clausius, da Zeuner, da Turazza, da Cambes e da altri.

Varie fonti di calore.

§ 248. Veduti i diversi ordini di fenomeni che il calore determina ne' corpi, ci rimane di accennare quei fenomeni o quelle azioni che promuovono ne' corpi il calore. Tali sono alcuni cambiamenti nello stato fisico de' corpi, la compressione o condensazione, lo strofinio, il moto, l'elettricità e le chimiche combinazioni.

§ 249. Si è notato prodursi calore in quelle mutazioni nello stato d'aggregazione delle molecole di un corpo, per le quali le molecole stesse si riducono a minori mutue distanze, e si aggruppano formando un sistema dotato di maggiore coerenza, siccome accade nella liquefazione dei vapori (§ 223), e nella solidificazione dei liquidi (§ 202). E già si indicarono le quantità relative di calore che in tali casi si producono. Manifestasi allora quel calore che dianzi serviva a man-

(a) Ma ancor qui s'incontra ben presto un limite nell'effetto utile, poichè, a produrre l'aumento di un'atmosfera nella forza espansiva dell'aria, bisogna aumentarne la temperatura di circa 273° : talchè non potrebbesi usare l'aria calda a tensioni effettive eccedenti le tre atmosfere, senza incontrare le perdite ed i guasti che poco sopra s'accennarono per il sovrascaldamento del vapore.

tenere in istato espansivo le molecole del vapore od in istato fluido le molecole del liquido, elidendo, almeno in parte, l'azione delle forze molecolari aggregative. Può dirsi dunque che *ne' vapori e nei liquidi il calore operi come una forza viva molecolare, che di continuo va contrastando l'azione, pur di continuo esercitata dai moti molecolari aggregativi.*

Termogenesi meccanica.

§ 250. *Ogni volta che un corpo prova l'azione di forze estrinseche prementi, si promuove in esso una quantità di calore, la quale ha relazione colla grandezza delle modificazioni prodotte nelle condizioni fisiche del corpo, e quindi colla quantità del lavoro speso per produrle.*

Per una data forza premente, la variazione nella densità d'un corpo sarà inversamente proporzionale al suo coefficiente di elasticità (§ 131) se trattasi d'un solido, ovvero direttamente proporzionale al suo coefficiente di comprimibilità (§ 133), ove trattisi d'un liquido.

I metalli percossi a martello, compressi sotto il conio, passati alla trafilatura od al laminatoio, si scaldano notevolmente. Berthollet e Biot, determinando gli aumenti di temperatura prodotti in diverse piastre metalliche sotto successivi colpi del torchio usato a coniar monete, rilevarono che gli scaldamenti prodotti in una stessa piastra decrescono mano a mano che scemano gl'incrementi della densità delle piastre stesse. Ecco alcuni esempi.

<i>Aumenti di temperatura osservati</i>				
	<i>1° colpo</i>	<i>2° colpo</i>	<i>3° colpo</i>	<i>Totale</i>
1 ^a Piastra di rame	9,69	4,06	1,06	14,81
2 ^a idem	11,56	2,50	0,81	14,87
1 ^a Piastra d'argento	3,44	3,25	1,50	8,19
2 ^a idem	4,06	1,19	1,12	6,37

Il calore dato dall'argento risulta minore di quello dato dal rame. Coll'oro ebbesi una quantità di calore inferiore ancora a quella dell'argento. Però il processo usato dai detti sperimentatori non poteva dar loro gli effettivi aumenti di temperatura prodotti nelle piastre per opera della compressione, ma soltanto i rapporti degli incrementi stessi. Un pezzo di rame avente la densità 8,8529, battuto una prima volta, si ridusse alla densità 8,8898, ed a 8,9081 dopo un secondo colpo. Un pezzo d'argento, con un primo colpo presentò un aumento di densità da 10,4465 a 10,4838; mentre un pezzo d'oro crebbe solo da 19,2390 a 19,2487.

Weber (1830), per determinare nei metalli la variazione di temperatura prodotta da una data variazione nel loro volume, si prevalse d'una rapida trasmissione di tensione fra due parti d'un filo, l'una dianzi debolmente tesa e l'altra tesa fortemente, cosicchè la prima s'allunga e raffreddasi, l'altra s'accorcia e scaldasi, allorchè tra esse si distribuisce equabilmente la tensione. E la variazione nella tensione dipendente dalla mutazione nella temperatura egli la inferì dall'altezza del suono dato dalle due parti fatte vibrare separatamente appena trasmessa la tensione, e dopo ristabilito l'equilibrio termico tra esse ed il mezzo.

Ad aumentare sensibilmente la temperatura nei liquidi per mezzo d'una forza premente, necessita che questa operi con grande rapidità. Joule (1861), sperimentando sull'acqua, ottenne scaldamenti maggiori e coll'aumentar la pressione e col crescere la temperatura iniziale del liquido (però verso i 4° ebbe un minimo di scaldamento). Colla pressione di 25 atmosfere circa ebbe scaldamenti di 0°,008; 0°,020; 0°,031 e 0°,054, secondo che l'acqua aveva dianzi rispettivamente temperature di 1°,2; 11°,7; 18°,5 e 30°,0. Esercitando la stessa pressione di 25 atm. su l'olio di balena a 16°,3, ebbe uno scaldamento di 0,463. Pertanto le condizioni favorevoli alla comprimibilità dei liquidi favoriscono pure lo scaldarsi de' medesimi colla compressione. I risultati di non poche sperienze del Joule corrispondono abbastanza alla:

$$(171) \quad t = \frac{(273 + t) \delta P}{c d E},$$

essendo t la temperatura iniziale del liquido, le cui caloricità, densità e dilatabilità termica siano c , d e δ , e posto t' l'aumento di temperatura che esso subirà per un aumento P nella pressione su l'unità di superficie, ed E l'equivalente dinamico di una caloria, come si dirà avanti.

§ 251. *I gas, ancor più facilmente dei liquidi, variano nella temperatura col mutare delle forze prementi, in quanto compiono un lavoro d'espansione contro un'esterior resistenza, oppur accumulano in loro un lavoro esterno di condensazione.* Però a misurare queste variazioni richiedesi un termometro dotato di ben poca caloricità specifica ed assai pronto nelle sue indicazioni, quale è quello di Breguet (§ 170). Si argomentano pure le variazioni termiche in una massa di gas contenuta in un recipiente, dalle variazioni osservate nella sua forza espansiva dietro una rapida mutazione di pressione, promossa sia col dare uscita ad una piccola porzione dello stesso gas dal recipiente, sia col lasciarvene entrare una nuova porzione.

Rarefacendo prestamente l'aria nel recipiente pneumatico, Breguet

osservò scendere il suo termometro da $+ 19^{\circ}$ a $- 4^{\circ}$, cioè di 23° ; mentre un termometro a mercurio accennò un raffreddamento di soli 2° . Per aumentare la prontezza nello strumento di Breguet, giova menomare il più possibile la massa della spirale per rapporto alla sua superficie, e ricoprir questa con nero fumo, come proposero Favre e Silbermann, per darle la massima facoltà assorbente ed emittente pel calor radiante. Però lo scaldamento prodotto da un dato aumento di pressione riesce diverso coi differenti gas. Ecco i risultati da essi avuti facendo variare repentinamente la pressione da 76 cent. a 132 cent. di mercurio:

Aumenti di temperatura ottenuti.

Idrogeno	18°,1	Ossido di carb.	12°,6
Aria	13,2	Acido carbonico	11,3
Ossigeno	13,2	Protossido d'azoto	11,0

Essi trovarono altresì che per un dato gas un'egual variazione nella pressione produce nel termometro una variazione di temperatura tanto maggiore quant'è maggiore la densità iniziale del gas medesimo. Quindi, per quanto sia pronto il termometro di Breguet, pur quando il gas ha densità da 1 a 2 atmosfere, la variazione di temperatura da esso indicata è molto inferiore di quella che dovrebbe verificare qualora il termometro stesso avesse una prontezza assoluta.

Per questi principii si spiega: l'uso dell'accendifuoco pneumatico; il raffreddarsi dell'aria atmosferica scaldata dal suolo, nell'atto ch'essa si innalza rarefacendosi; la frescura prodotta dall'aria che irrompe dai soffiatoi delle grotte o cantine praticate al piede d'alcuni monti a roccie stratiformi; l'agghiacciarsi dell'umidità commista all'aria che esce da alcune macchine ov'essa sta condensata; ecc.

§ 252. Il calore che per molti modi si produce nei corpi collo stropicciarli, anziché dalla compressione avvenuta in essi, dipende dallo smovimento molecolare ai medesimi trasmesso, oppur suscitativi coll'attrito stesso.

Le lime, i succhielli, le seghe, i punteruoli, gli assi delle ruote, i legni o le pietre si scaldano sensibilmente. L'acciaio sfavilla intaccato vivamente dalla selce; una lega d'antimonio e ferro scintilla sotto la lima. L'attrito provoca l'accensione del fosforo nei consueti solfini. Due legni secchi e di diversa consistenza stropicciati rapidamente l'uno entro l'altro, a guisa di trapano, ponno provocare l'accensione nel più cedevole. Sfrestando tra loro due pezzi di lega di piombo, bismuto e mercurio a parti eguali, si fondono. Come pure si liquefanno nelle parti strofinate due pezzi di ghiaccio in un ambiente

a temperatura inferiore a 0°, siccome sperimentò Davy (1799). Ed in questo caso è evidente che il calore prodotto non può ascriversi, come suppose Berthollet, a diminuita capacità termica dei corpi strofinati, poichè all'opposto l'acqua liquida, qual è data dall'attrito, ha una caloricità che è circa doppia di quella dell'acqua solida (§ 187).

Rumford (1798), facendo agire due ore un trapano colla velocità di 32 giri al minuto primo e con una pressione di circa chilog. 4500 entro un cilindro di bronzo pesante ch. 51, 4 e contenente ch. 12,0 di acqua, ottenne di scaldar questa da 0° a 100°, staccandosi dal cilindro soltanto ch. 0,27 di raschiatura di bronzo. Tanta quantità di calore non può ascriversi a mutazione di densità e di caloricità occorsa nella scarsa raschiatura, ma bensì è da attribuire allo smuovimento vibratorio provocato nelle molecole del cilindro dall'azione abrasante del trapano, o meglio ad una conversione in moto molecolare del lavoro meccanico compiuto dalla forza motrice mantenendo in esercizio lo strumento perforatore. Infatti, con altre prove, dimostrò che, serbando costanti la velocità di rotazione e la pressione esercitata dallo stromento sul metallo perforato, gli scaldamenti di questo e dell'acqua involgente risultavano direttamente proporzionali alla durata del lavoro.

Codesta termogenesi per attrito potrà quindi aversi anche indipendentemente dall'abrasione dei corpi strofinantisi tra loro. Così Morosi, nel 1822, fece ruotare con diverse velocità e pressioni un emisfero di legno entro una cavità d'egual forma, praticata nel fondo metallico d'un vaso, che nel resto era di legno e conteneva dell'acqua, ed al quale, successivamente, adattavansi fondi di metalli differenti, cioè ferro, acciaio, ottone, stagno, piombo ed una lega di stagno, zinco e bismuto. Osservò che l'acqua scaldavasi di più coi metalli meno conduttori e specialmente col piombo, e che per ciascun metallo lo sviluppo di calore cresceva di più coll'aumentare la pressione, che non accrescendo la velocità: in generale però l'acqua si riscaldava solo d'alcuni gradi. Sostituì poi all'emisfero di legno, quale corpo strofinatore, un cono formato con dischi di carta fortemente compressi e collegati da una spina alta cent. 7 e girante colla velocità di 400 giri al minuto primo entro una cavità d'egual forma in piombo, che serviva di fondo allo stesso vaso di legno, entro cui stavano ch. 2,56 d'acqua. Ottenne così di scaldar questa a 100° in 12', e di farla quindi interamente svaporare in breve tempo. Perciò opinava il Morosi si potesse con economia utilizzare così fatta sorgente di calore. Infatti, e di conformità a queste sperienze, ma molto dopo (1855), Baumont e Mayer costruirono un apparecchio termogenico assai efficace, facendo ruotare un cono di legno coperto di canape inzuppata di grasso entro un cono cavo di rame.

Che il calore provocato ne' corpi da alcune azioni meccaniche provenga dallo stesso smovimento molecolare, anzichè dalla loro condensazione, emerge anche dai seguenti fatti. Il piombo percosso a martello può scaldarsi sino a fondersi senza aumentare sensibilmente di densità. Montgolfier trovò che un cannone di bronzo per effetto d'una scarica scaldasi più che se il suo cavo stesse empito di carboni ardenti per un tempo dieci volte maggiore della durata della scarica stessa.

Pertanto a provocare calore in un solido vale una qualsiasi azione meccanica, colla quale si suscitò in esso, per semplice trasmissione di movimento, un moto intestino o molecolare, e la quantità di calore prodotto in un dato tempo si mostra commisurato al lavoro motore prodotto dalla forza motrice nel tempo medesimo.

Anche lo strofinio dei gas produce calore: come si osserva nelle palle da cannone e nelle pietre meteoriche, le quali solcando rapidamente l'atmosfera, si scaldano talora sino ad infiammarsi. Lo spontaneo incendio d'alcune foreste dipende non solo dallo sfregamento dei rami de' vegetali, ma benanco dall'attrito e dalla condensazione dell'aria impigliata frammezzo ad essi.

§ 253. Talora, operando su di un corpo in moto per modo da menomarne od estinguerne la velocità, suscitasi in esso un calor sensibile (a). Così nell'urto dei corpi molli la forza viva, che va perduta, trasmutasi in calore; ossia quella parte della loro velocità di traslazione totale, che sembra distrutta, s'adopera ad accrescere la velocità di vibrazione delle loro molecole, cui corrisponde un aumento nella temperatura dei corpi stessi. Laddove nell'urto dei corpi elastici non verificasi sensibile variazione di temperatura, poichè per essi la forza viva, dopo l'urto, eguaglia la forza viva sussistente prima dell'urto, ad una momentanea compressione succedendo tosto un'equivalente espansione, e la velocità modificandosi solo nella direzione e non nella grandezza (§§ 42 a 44).

Teoria termo-dinamica.

§ 254. L'insieme delle precitate osservazioni torna in appoggio della *teoria dinamica del calore*, la quale oggidì viene da' fisici accettata (b) in luogo dell'antica ipotesi del *calorico*, il quale era con-

(a) Ne vedremo poco avanti un chiaro esempio nello scaldamento provato dal mercurio col fermarlo dopo che abbia acquistata una certa velocità colla caduta.

(b) Il primo concetto veramente scientifico di questa moderna teoria venne formulato con molta precisione da Laplace, in una memoria ch'ei pubblicò in comune col Lavoisier nel 1780, col titolo *Sur la chaleur*.

siderato come una materia a sè, ossia come uno speciale fluido sottilissimo. Eccone in breve i principii.

Qualunque sia la natura propria del calore, è dato interpretare i diversi fenomeni ad esso attribuiti, riguardandolo semplicemente come una energia. La temperatura sensibile d'un corpo corrisponde alla forza viva (a) delle sue molecole vibranti oppure ruotanti con data velocità intorno ai rispettivi loro centri di gravità. Col variare di questa velocità vibratoria delle molecole, varia in esse, per inerzia la forza centrifuga e perciò anche l'ampiezza delle loro vibrazioni, e, variando le loro medie distanze, varia altresì il volume del corpo e l'intensità relativa della sollecitazione centripeta ed aggregativa delle molecole stesse.

Lorchè un corpo si scalda, accade un dispendio di energia ad esso esterna, ed in corrispondenza una perdita nella forza viva molecolare di altri corpi. E questo guadagno di energia serve in parte ad aumentare la velocità vibratoria nelle molecole di tal corpo in relazione all'aumento che si verifica nella sua temperatura, ed in parte serve a compiere il lavoro meccanico della sua dilatazione, cioè a ridurre le molecole stesse a maggiori mutue distanze, contro l'operare delle loro forze aggregative. Che se il corpo, per dilatarsi, deve vincere anche un'esterna pressione, il lavoro motore impiegato nella dilatazione equivarrà alla somma dei lavori resistenti sviluppati e dalle dette forze molecolari e dalla pressione esteriore (§ 196).

Quando invece un corpo si raffredda, verificasi in esso una perdita di forza viva, scemandosi la velocità vibratoria delle sue molecole, le quali perciò si riducono a minori mutue distanze, proporzionalmente all'eccesso che in esse risulta delle sollecitazioni centripete su le centrifughe. Ma in generale, codesta perdita di forza viva rende estrinseca una energia la quale compie un lavoro motore per aumentare sia la velocità vibratoria, sia le mutue distanze nelle molecole dei corpi circostanti.

E poichè nei diversi corpi è varia l'intensità delle azioni molecolari di coesione, sarà pur varia, astrazion fatta da ogni estrinseca pressione, la quantità di calore necessaria a produrre in ciascun di essi eguali aumenti di volume: anzi questa quantità è direttamente proporzionale alla coerenza delle molecole. In altre parole, una stessa quantità di calore, operando su eguali volumi di diversi corpi, produce aumenti di volume inversamente proporzionali alla loro coesione.

(a) Per semplicità di discorso, intendiamo qui per *forza viva* d'una molecola non già il prodotto della sua massa per il quadrato della sua velocità, ma bensì, come propose Clausius, la metà del prodotto medesimo; poichè così la forza viva guadagnata o perduta serve direttamente di misura del lavoro meccanico compiuto dalla forza motrice.

Pertanto, benchè siano tra loro differenti ne' vari corpi e le densità e le calorie di temperatura ed i coefficienti di dilatazione, siffatti elementi si mostrano tra loro collegati con riguardo alla coesione molecolare, siccome si è veduto nel § 192.

Anche allorquando un corpo, per cresciuta temperie, da solido si fa liquido, o da liquido si tramuta in vapore, il calore opera come una forza motrice, la quale produce un lavoro meccanico, sia nel render fluide le molecole in onta alle scambievoli loro sollecitazioni aggregative, sia nell'aumentare le loro mutue distanze contro l'azione delle stesse forze molecolari e delle esterne forze prementanti (§§ 199 e 225). E, per converso, quando un vapore od un gas si liquefanno, o quando un liquido si solidifica, si convertirà in forza viva (ossia in calore sensibile) quel lavoro dinamico che dinanzi serviva ad elidere nelle sue molecole l'effetto delle loro forze aggregative o di esteriori pressioni.

In tutti gli indicati fenomeni termici accade dunque semplicemente od una trasformazione di un lavoro meccanico in forza viva, ovvero una conversione d'una forza viva in un lavoro meccanico; e sempre questi due elementi del fenomeno, giusta le leggi d'inerzia (§ 17), sono commisurati l'uno all'altro, come ogni reazione è commisurata all'azione.

Così, se una forza motrice qualsiasi opera su di un corpo sfregandolo, percuotendolo o premendolo, esso aumenterà di temperatura proporzionalmente al guadagno di forza viva delle sue molecole; e questo guadagno sarà proporzionale al lavoro motore sviluppato da detta forza motrice operante sul corpo stesso. Ed il lavoro motore ottenibile da un corpo che si raffredda è proporzionale soltanto a quelle calorie che corrispondono ad una perdita di forza viva nelle sue molecole.

Consegue da ciò che il *valore dinamico di una calorìa*, o, come suol dirsi, *l'equivalente dinamico del calore* (chè così si denomina la quantità di lavoro meccanico necessario a svolgere una calorìa, ovvero la quantità di lavoro meccanico che può prodursi da una calorìa integralmente usufruita) avrà sempre lo stesso valore, qualunque sia il processo adoperato per effettuare la conversione d'una forza motrice in calore, oppure del calore in forza motrice.

Ne consegue altresì che ogniquale volta un sistema di corpi opererà di qualunque modo come fonte di energia, si verificherà in esso una perdita di calore, la quale più non accadrà ove si modifichi il sistema medesimo per modo che non siavi produzione di lavoro meccanico all'esterno.

Le quali deduzioni della teoria sono di una grande importanza per le applicazioni; ed essendo poi state confermate dalla esperienza,

aggiungono molto valore alla teoria stessa. Epperò questa parte della termologia acquista chiarezza e precisione scientifica, subordinandosi alle leggi generali della meccanica astratta.

§ 255. Joule sino dal 1843 istituì parecchie serie di esperienze per determinare il valore dinamico di una caloria, seguendo processi tra loro assai differenti.

Nel 1850 eseguì cinque serie di sperienze, procurando di tenere diligentemente conto di tutte le influenze perturbatrici dei risultati.

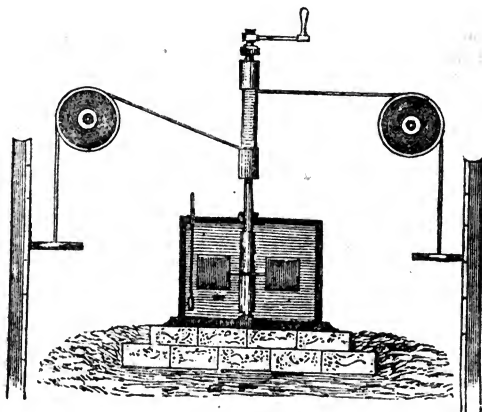


Fig. 178.

La prima serie mediante lo strofinio dell'acqua con una ruota a palette in ottone; la seconda mercè lo stropicciamento d'una ruota in ferro dolce col mercurio; la terza collo stesso mezzo, ma usando pesi meno gravi per muovere l'apparato; la quarta collo sfregamento mutuo di due dischi di ferraccio, e la quinta col medesimo mezzo, ma diminuendo i pesi motori. I risultati medi di queste cinque serie, quali si riscontrarono nell'aria, furono ordinatamente: *ch. m.* 424,4; 424,5; 425,8; 426,3, e 425,1 (a), e, riducendoli, col calcolo, a quei valori che sarebbersi avuti nel vuoto, 423,9; 424,0; 425,4; 425,76, e 424,6.

Riflette il Joule che i valori avuti dallo sfregamento del ferraccio

(a) Quest'abbreviatura *ch. m.*, significa chilogrammetro.

dovrebbero essere diminuiti d'una piccola quantità per il lavoro speso nello staccare alcune particelle del metallo, vincendo in esse la coesione: però la raschiatura prodotta era in sì tenue quantità da non poterla pesare. Quindi egli riguarda come più attendibile il valore dedotto dallo strofinamento dell'acqua, sia per il maggior numero delle esperienze fatte con tal mezzo, sia per la notevole capacità del calorimetro adoperato. Se non che stima opportuno di diminuirlo un tal poco, per tener conto del lavoro corrispondente alla produzione d'un leggier suono che non puossi evitare nello sfregare i liquidi.

Pertanto egli conclude che il *valore dinamico di una caloria corrisponde a chilogrammetri 423,5*. Cioè, per isvolgere una caloria, richiedesi un lavoro meccanico corrispondente alla caduta di 423,5 chilogrammi dall'altezza d'un metro, e reciprocamente una caloria, spesa come forza motrice, darà un lavoro meccanico di chilogrammetri 423,5.

Queste esperienze sono molto importanti, dimostrando che la quantità di calore prodotta dallo sfregamento di corpi solidi o liquidi quali si siano è sempre proporzionale alla quantità del lavoro motore impiegato.

§ 256. Anche Hirn di Colmar, posteriormente, determinò, seguendo diverse vie, il valore dinamico d'una caloria. In una serie di prove misurò lo scaldamento prodotto in alcuni liquidi contenuti nello spazio annulare compreso fra la parete interna di un tubo cilindrico e quella d'un cilindro ruotante nell'interno di esso, sicchè il liquido interposto veniva strofinato dalle due superficie cilindriche tra loro parallele, e d'altra parte determinò il lavoro speso a produrre codesto strofinio. Un processo analogo adoperò per ottenere la misura del calore prodotto, per attrito tra due cilindri metallici, da un determinato lavoro motore.

Determinò pure l'aumento di temperatura verificantesi in alcuni pezzi di piombo che venivano percossi con una specie di incudine orizzontale: cioè, tenendoli sospesi frammezzo ad un pesante masso di pietra e ad un cilindro in ferro, sorretti entrambi con opportune funi ad una trave orizzontale, nell'atto che il detto cilindro percorreva, cadendo, un arco di data altezza. Trovò altresì il rapporto tra il calore prodotto in una massa metallica perforata con un trapano, ed il lavoro motore impiegato.

Ma la più interessante determinazione del valore dinamico d'una caloria ei la trasse dal lungo esercizio di una macchina a vapore sovrascaldata ed a condensazione. Da una parte misurò la differenza fra la quantità di calore comunicata al vapore passante pel cilindro e quella da esso ceduta nel condensatore, e dall'altra il lavoro resistente compiuto dalla macchina grazie a codesta differenza, giac-

chè essa esprime appunto la quantità di calore che il vapore, penetrato nel cilindro, cedette all'embolo per mantenerne il moto.

Ora il valor medio del potere dinamico d'una caloria dedotto dall'insieme di tutte queste serie di esperienze risultò appunto di ch. m 423,5, confermando così la indipendenza di questo valore da tutte le peculiari condizioni dei corpi, per mezzo de' quali compiesi la conversione di un lavoro meccanico in calore, o reciprocamente del calore in un lavoro.

§ 257. Un altro modo, abbastanza semplice e diretto, può adoperarsi per la determinazione del valore dinamico d'una caloria. Trattasi di misurare l'aumento di temperatura che prova un liquido (poco o punto vaporabile), allorchè lo si ferma dopo che abbia percorso un determinato spazio di caduta libera. Un vaso cilindrico di vetro, di circa un decimetro di diametro, ed avente nel mezzo del suo fondo un foro chiuso da un tappo, che può levarsi con una funicella, contiene tanto mercurio da empirlo sino all'altezza di un decimetro, cosicchè rimanga in esso sommerso il serbatoio di un termometro a mercurio. Questo vaso è sostenuto al di sopra d'un largo tubo di vetro, che inferiormente mette capo in un altro vaso di vetro, affatto simile al superiore, dentro il quale sta disposto un altro termometro, col suo serbatoio verticalmente fissato quasi a contatto del fondo. Uno schermaglio metallico tubulare protegge dal calor radiante i due vasi. Quando i due termometri, dapprima esattamente paragonati tra loro, accennano essere le temperature dei due vasi abbastanza stazionarie e pochissimo tra loro differenti, si alza il tappo del vaso superiore, il mercurio si precipita nell' inferiore, e si rileva la temperatura cui esso giunge; la differenza tra questa e la precedente, appena innanzi la caduta, dà lo scaldamento dovuto al moto di gravità. L'influenza termica dei vasi vien attenuata dalla notevole massa del liquido cadente. Il liquido raggiungendo la stessa altezza nei due vasi, poichè d'egual diametro, e questo rispondendo appunto alla lunghezza del serbatoio termometrico, può ritenersi, senza bisogno d'alcun rimestamento, che ciascun termometro accenni la media delle temperature proprie dei varii strati liquidi toccanti il serbatoio stesso.

Ora, calcolando l'aumento di temperatura che nel mercurio devesi verificare, grazie alla velocità acquistata con una data caduta, e quindi la forza viva che viene trasformata in calore col fermarsi, ritenuto il valore di 423 chilogrammetri pel valor dinamico di una caloria, si ha un valore che mirabilmente risponde al riscaldamento ottenuto coll'esperienza, per medio di molte prove, ove si abbia riguardo al calore che il mercurio cadente viene inevitabilmente comunicando all'aria, in quanto perde, per la di lei resistenza, una parte della propria forza viva.

In generale le calorie c' prodotte dalla forza viva d'un corpo di peso p , fermato dopo che abbia percorso lo spazio s , cadendo liberamente, posto E il valore dinamico d'una caloria, saranno espresse dalla :

$$Ec' = ps.$$

E l'aumento t di temperatura che queste calorie produrranno nel corpo stesso, sarà dato dalla $pct = c'$, ossia dalla :

$$Ect = s,$$

ove c sia la sua caloricità specifica. Pel mercurio, alle ordinarie temperature, essendo $c = 0,032$, posto $E = 423$, s'avrà :

$$t = \frac{s}{43,9} \quad (a).$$

§ 258. Si può anche dedurre il valore dinamico E di una caloria dalla formola :

$$(172) \quad E = \frac{\delta P}{p(c - c')},$$

essendo δ il coefficiente della dilatazione dell'aria a pressione costante, P la pressione operante su di un metro superficiale dell'aria stessa, p il peso di un metro cubo d'aria secca a 0^0 ed alla pressione P , c le calorie di temperatura a peso dell'aria mantenuta a pressione costante, e c' le analoghe calorie sotto volume costante: poichè la quantità δP esprime appunto il lavoro meccanico prodotto dalla quantità $p(c - c')$ di calore. Quindi ponendo $\delta = 0,00467$, $P = \text{ch. } 10334$, $p = \text{ch. } 1,293$, e $c = 0,2374$, e ritenuto :

$$c' = \left(\frac{279}{333} \right)^2 = 0,1668$$

secondo Laplace, si trova $E = \text{ch. m. } 424,48$, valore affatto concorde con quello ammesso da Juole.

Il risultato dovrebbe essere sensibilmente eguale per gli altri gas, purchè gli elementi δ , c e c' siano per ciascuno di essi determinati in tali condizioni che riesca nulla l'influenza delle forze molecolari

(a) Coll'apparecchio sovradescritto, nel 1864, per medio di 34 sperienze eseguite con differenti altezze di caduta, ottenni $E = 420,7$; valore poco inferiore a quello trovato da Joule, tenuto conto d'una piccola quantità di forza viva che nelle dette sperienze venne perduta dal mercurio, per rimuovere dinanzi a sè l'aria contenuta nel tubo di comunicazione fra i due vasi.

aggregative su le molecole del gas: altrimenti, oltre al lavoro esterno, il calore dovrebbe produrre un lavoro interno per elidere l'effetto in codeste forze.

§ 259. Quale altra delle deduzioni della teoria dinamica del calore si accennò sopra che, qualora in un sistema di corpi, ne' quali accadano date variazioni di volume, si dispongano le cose per modo che non producasi alcun lavoro meccanico all'esterno, non vi sarà perdita di calore. Questa illazione fu verificata nel seguente modo da Joule. Due vasi di rame d'egual capacità comunicano tra loro per mezzo d'un tubo munito di chiave, e stanno immersi nell'acqua contenuta in ampio recipiente che serve di calorimetro. Restando serrata la chiave, si comprime l'aria nell'un vaso sino ad una forza espansiva di circa 22 atmosfere, e nell'altro si fa il vuoto. Agitata l'acqua e stabilito l'equilibrio termico nel sistema, si rileva con esattezza la temperatura; indi s'apre la chiave, e l'aria si diffonde ne' due vasi ad eguale pressione. Rimescolando ancora l'acqua del calorimetro, se ne trova immutata la temperatura, benché il gas, raddoppiando il volume, abbia subito una notevole espansione. Ma appunto in tal caso non fuvi produzione di lavoro meccanico al di fuori del calorimetro.

Laddove se i due vasi stanno in separati recipienti, ripetendo la stessa esperienza, v'è raffreddamento dove l'aria era prima compressa e vien rarefacendosi, e riscaldamento dove essendosi fatto il vuoto, l'aria che mano mano vi affluisce va condensandosi. Convien quindi ammettere che codesto raffreddamento e codesto riscaldamento si compensassero esattamente nella precedente esperienza, ritornando l'aria alla temperatura iniziale.

Siccome però la caloricità a peso dell'aria è tanto piccola rispetto a quella dell'acqua del calorimetro, da poter passare in avvertita una sensibile variazione nella temperatura propria dell'aria, l'Hirn volle verificare con un mezzo più sensibile il risultato della predetta esperienza. Prese egli un tubo di rame, diviso in due eguali capacità da un diaframma, sottile e flessibile ma impermeabile all'aria (in carta pecora); con una pompa fece passare da una capacità all'altra una parte dell'aria contenuta nella prima, cosicchè le tensioni delle due bande si ridussero rispettivamente ad atm. 0,5 ed 1,5. Lasciato poi trascorrere alcun tempo, determinando nell'interno la caduta di una palla di piombo, ruppe il diaframma. Con ciò, per la libera comunicazione delle due capacità, l'aria riducendosi rapidamente ad una medesima tensione, trovò che questa corrispondeva esattamente alla tensione primitiva di un'atmosfera, benché questa tensione fosse misurata con un manometro ad olio d'ulive, pel quale la variazione nella tensione corrispondente a quella di solo 0°,02 nella tempera-

tura sarebbesi resa sensibile colla variazione di un millimetro nel livello manometrico.

Thompson però concepì il dubbio che la temperatura subisse in fatto una lieve diminuzione (benchè poco sensibile) pur quando l'aria dilatasi senza produrre lavoro all'esterno, e propose di obbligare un gas rinserrato e mantenuto a pressione costante a passare attraverso un solido poroso poco conduttore, e di notarne la temperatura all'entrare in questo ed appena uscitone. Con siffatto mezzo, che è assai più sensibile di quello già messo in opera da Joule e da Regnault, venne verificato quanto Thompson aveva sospettato. Posteriormente (1855) coteste esperienze, tentate su vasta scala dallo stesso Thompson e da Joule, provarono che il detto raffreddamento subito dal gas, che alle ordinarie temperature si espande senza dare alcun lavoro esterno, giunse per l'aria atmosferica a $0^{\circ},26$ soltanto e per l'acido carbonico ad $1^{\circ},14$ per ogni atmosfera di differenza fra le pressioni. Il che conferma essere tal poco operativa anche tra le molecole di questi gas, e massime tra quelle dell'acido carbonico, la gravitazione reciproca (§ 195).

Termogenesi chimica.

§ 260. Riservandoci di parlare in altro capo dell'elettricità come fonte di calore, dobbiamo ora prendere in esame le chimiche combinazioni, le quali in molti casi provocano ragguardevoli quantità di calore.

Chiamasi comunemente *combustione* l'atto per cui due o più corpi eterogenei, nel combinarsi, promuovono calore e luce. L'ossigeno è il corpo comburente più comune e che dà le più vive combustioni. L'idrogeno, il carbonio, i metalli degli alcali e delle terre, ed i prodotti organici più ricchi di carbonio ed idrogeno, combinandosi coll'idrogeno producono le combustioni più vivaci. E più comunemente l'ossigeno delle combustioni è somministrato dall'aria atmosferica.

La fiamma è una miscela di varii fluidi aeriformi in atto di viva combustione: per effetto di gravità e della esterna pressione essa assume la forma conica o piramidale; e l'intensità della luce e del calore è ben differente nei varii suoi punti.

In una fiammella di gas illuminante (bicarburo d'idrogeno), come pure in quella d'una candela o d'un lucignolo ad olio o ad alcole si distinguono facilmente le seguenti diverse parti: *a*) la base di color turchino cupo, formata dai varii gas combustibili (combinazioni o miscele di idrogeno e carbonio), la cui temperatura è tuttavia inferiore a quella voluta per una viva combustione; *b*) un cono interno oscuro,

costituito dagli stessi gas combustibili assai più caldi, che però non abbruciano punto per mancanza del comburente (ossigeno atmosferico); c) un involuppo conico molto splendente, dove la combustione riesca incompleta per insufficienza d'ossigeno, e dove l'idrogeno abbruciando pel primo lascia libere delle particelle di carbonio, le quali attraversandolo incandescenti lo rendono assai brillante, oppure si depongono incombuste sui solidi introdottivi; d). infine un involuppo conico esteriore, poco lucente, dove la combustione è completa, epperò la temperatura molto elevata.

Becquerel, esplorando la fiamma d'un lucignolo ad alcoole con un ago termo elettrico, stimò che il cono centrale oscuro avesse una temperatura di 750° , di 1080° l'involuppo brillante e di 1350° l'involuppo esterno. La massima temperatura si verifica al vertice del cono, in contiguità dell'involuppo esterno.

Affinchè le ordinarie combustioni ossigenee siano molto attive, conviene rendere rapido l'afflusso dell'aria lambente la superficie dei combustibili, e questa dev'essere il più possibile estesa e mantenuta ad alta temperatura: sul qual principio riposa la costruzione delle lampane a doppia corrente d'aria, e dei focolari e fumaiuoli per le caldaie a vapore e per i forni fusori.

Introducendo nella fiamma una reticella di filo metallico molto conduttivo del calore, che pur concede facile passaggio ai fluidi combustibili, si fa in questi abbassare talmente la temperatura da interrompervi la combustione; del qual fatto approfittò Davy per costruire la sua lampana di sicurezza pei minatori (a).

I corpi combustibili si ponno difendere dall'incendiarsi rivestendoli d'uno strato che ne impedisca la combinazione coll'ossigeno (b).

§ 261. Per *calorie di combustione* d'un dato combustibile s'intende comunemente il numero di calorie, che produce l'unità di peso di esso combinandosi coll'equivalente quantità d'un comburente, il quale, ove non s'indichi altrimenti, ritiensi essere l'ossigeno.

Per determinare queste calorie si adopera il calorimetro ad acqua di Rumford perfezionato da Dulong e da Favre e Silbermann, usando

(a) Secondo Davy una rete di fili metallici del diam. di mill. 0,4, che presenti 15 a 16 pertugi per centim. quad., intercetta alla temperatura ordinaria la fiamma d'una lampada ad alcoole e non quella del gas idrogeno; se però questa rete vien preventivamente scaldata, non interrompe neppur la fiamma d'alcoole. Su questo fenomeno influisce la grossezza del filo e la piccolezza delle maglie.

(b) I legni ed i tessuti di lino, di canape, di lana, ecc., immergendoli in soluzioni bollenti di fosfato, borato o solfato d'ammoniaca, di borace, di allume, di potassa silicea, di cloruro sodico, e simili, resistono al fuoco ordinario. I legnami di costruzione si preservano dagl'incendi, ricoprendoli d'un intonaco di solfato cuprico, di calce o d'altri ossidi metallici.

la stessa formola e le stesse diligenze impiegate nella determinazione delle calorie di scaldamento de' corpi col metodo delle miscele. Lavoisier e Laplace si valsero del loro calorimetro a ghiaccio, il quale per quest'uso presenta maggiori difficoltà.

Ecco alcuni dati di Favre e Silbermann per le calorie di combustione ossigenica dell'unità di peso di vari corpi.

	Favre e Sil.		Favre e Sil.
Idrogeno	34462	Carbonio (in ac. carb.) . .	8083
Protocarb. d'idrog. . .	13063	Alcole etilico	7184
Bicarburo id.	11858	Alcole metilico	5307
Terebenteno	10852	Solfuro di carbonio . . .	3401
Acido stearico	9820	Solfo	2221
Etere etilico	9028		

Le calorie di combustione dei diversi corpi non sono punto proporzionali alla quantità d'ossigeno unitasi a ciascun di essi (a). Valgano ad esempio i seguenti valori delle calorie prodotte dall'unità di peso d'ossigeno combinandosi con diversi combustibili, desunti dai dati di Dulong:

Ossido di carb.	4358	Bicarburo d'idr.	3560	Carbone	2735
Idrogeno	4325	Protocarb. id.	3337	Solfo	2600
Cianogeno	4271	Alcole etilico	3336		
Etere solforico	3659	Terebenteno	3279		

Nondimeno cotesti valori differiscono tra loro molto meno dei precedenti, dove le calorie sono riferite all'unità di peso del combustibile.

Anche le calorie svolte dai pesi di combinazione dei corpi indecomposti abbruciando coll'ossigeno sono tra loro differenti: per esempio, per l'idrogeno, il carbone ed il solfo, coi dati precedenti si ottengono rispettivamente calorie 34462; 48480 e 35536.

Favre e Silbermann notarono che lo stato molecolare del combustibile esercita un'influenza notevole su le calorie della combustione. Mentre il carbone tratto dai diversi legni, purchè sia privo d'ogni materia estranea e segnatamente d'idrogeno, dà sempre le stesse calorie, il carbonio sotto altre diverse forme dà valori notevolmente differenti tra loro. Lo stesso rilevarono col solfo.

(a) Le calorie c di combustione dell'unità di peso di un combustibile sono collegate con le calorie c' di combustione dell'unità di peso del comburente per mezzo della relazione $cp = c'n p'$, ove p e p' sono i pesi di combinazione del combustibile e del comburente, ed n il numero delle molecole chimiche del comburente che entrano nel composto risultante dalla combustione.

Nei combustibili composti le calorie di combustione non corrispondono, in generale, a quelle che svilupperebbersi abbruciando isolatamente i loro componenti. Però pei composti aventi formole chimiche analoghe le calorie di combustione hanno qualche rapporto colla loro composizione.

§ 262. In generale *le combinazioni chimiche producono calore*; a meno che questo sia ridotto insensibile da altre azioni fisiche o chimiche intervenienti nell'atto della combinazione stessa, e producenti raffreddamento.

Molto estese ed assai diligenti sono le prove eseguite da Favre e Silbermann su le calorie di combinazione di molti metalli con parecchi metalloidi.

Moltiplicando poi il peso molecolare di ciascun metallo per le calorie prodotte dall'unità di peso di esso unendosi col peso proporzionale d'ogni metalloide, preso per unità il peso molecolare dell'idrogeno, s'ottiene ciò che Favre e Silbermann denominarono *equivalente calorifico* de' corpi stessi, cioè le calorie prodotte dalla combinazione di una molecola chimica, per ciascun componente, oppure anche le calorie di combinazione corrispondenti al peso proporzionale del composto, ritenuto questo in istato anidro. Secondo queste convenzioni ecco gli equivalenti calorifici dei diversi composti binari:

Radicali	Cloruri	Bromuri	Ossidi	Joduri	Solfuri
Potassio	100960	90188	...	77268	45638
Sodio	94847	...	...	...	...
Zinco	50296	...	42451	...	20940
Ferro	49651	...	37823	...	17753
Piombo	44730	32802	27675	23208	9556
Rame	29524	...	21885	...	9133
Argento	34800	25618	6113	18651	5524
Idrogeno	23783	9322	34462	— 3606	2741

È rimarchevole che i composti più stabili sono quelli che nel prodursi provocano maggior quantità di calore. Così ordinando i corpi indecomposti con riguardo al valor decrescente delle loro calorie di combinazione, si ottiene pei metalli la serie: potassio, sodio, zinco, ferro, piombo, rame, argento, e per i metalloidi la serie: cloro, bromo, ossigeno, jodio, solfo. Ora quest'ordine è in accordo coll'energia delle affinità e colla stabilità dei composti.

Anche Woods (1852-56) fece molte determinazioni di questo genere, ma si valse d'un processo meno suscettibile di precisione che quello usato da Favre e Silbermann. Nondimeno riportiamo i suoi dati circa le calorie prodotte dalla combinazione, per via umida, del peso pro-

porzionale de' varii corpi semplici coll'unità di peso d'ossigeno, assumendo per unità dei pesi proporzionali quello dell'idrogeno:

Sodio	75750	Stagno	34550	Rame	19350
Alluminio	71800	Ferro	33700	Molibdeno	15000
Potassio	68400	Niccolo	28900	Palladio	10750
Bario	56900	Piombo	26500	Mercurio	10650
Manganese	46200	Bismuto	21400	Argento	7100
Zinco	42600	Cobalto	21350	Azoto	7100
Cadmio	36350	Antimonio	21350	Jodio	3550

Pertanto Woods ritiene che il calore prodotto nelle combinazioni porga la misura dell'affinità relativa dei diversi corpi che si uniscono. Inoltre egli ritiene che sussistano dei rapporti semplici tra le calorie prodotte dalla unione dei pesi proporzionali de' varii corpi indecomposti; come facilmente si può rilevare dai precedenti numeri delle calorie di formazione dei diversi ossidi, le quali risultano assai prossimamente multiple di quelle date dal jodio, prese queste per unità.

§ 263. Pur nella produzione de' composti ternarii a mezzo della combinazione di due composti binarii aventi lo stesso elemento elettro-negativo, v'è sviluppo di calore. Favre e Silbermann istituirono anche su questo argomento un gran numero di esperienze.

Nel seguente quadro si indicano le calorie prodotte dalle combinazioni dei diversi acidi colle diverse basi, i cui pesi siano proporzionali ai rispettivi equivalenti chimici. I sali sono tutti solubili.

Ossido di	Acidi			
	solforico	azotico	cloridr.	acetico
Potassio	16083	15510	15656	13973
Sodio	15810	15283	15128	13600
Ammonio	14990	13676	13536	12649
Magnesio	14440	12840	13220	12270
Manganese	12075	10850	11235	9982
Niccolo	11932	10450	10412	9272
Cobalto	11780	9956	10374	9245
Ferro (protossido)	10372	9648	9829	8590
Zinco	10455	8323	8307	7720
Cadmio	10240	8116	8109	7546
Rame	7720	6400	6416	5264

Recentemente il Thomsen fece un lungo ed importante studio sperimentale su le calorie di combinazione dei composti binari e ternari. I risultati de' suoi esperimenti sono, in generale, in accordo coi

precedenti dati di Favre e Silbermann. Egli avvertì poi che pur tra le calorie di formazione dei vari composti ternari sussistono de' semplici rapporti di molteplicità fra di loro, analogamente a quanto rilevò Woods per le calorie di produzione de' composti binari.

Woods si convinse per molte prove, che la decomposizione d'un qualunque composto produce un raffreddamento equivalente al calore svolto dalla combinazione dei suoi componenti. Questo principio fu ammesso anche da Favre e Silbermann. Bisogna però aver riguardo agli effetti termici dipendenti dalle diverse mutazioni nello stato fisico che sorvengono nei componenti, mentre si disgiungono, oppur si uniscono.

§ 264. Woods opina che il calore prodotto dalle combinazioni provenga dall'accostamento (diminuzione nella distanza reciproca) che si verifica tra le molecole de' componenti mentre formano le molecole composte, unendosi tra loro. Per conseguenza, egli ritiene che il raffreddamento prodotto dalle scomposizioni provenga dalla espansione che succede tra le molecole del composto nell'atto che le molecole de' suoi componenti tra loro si disgiungono. Laonde, a suo avviso, il calore prodotto o sperso nelle azioni chimiche tra corpi eterogenei sarebbe affatto analogo a quello dato o sperso ne' corpi omogenei per condensazioni od espansioni provocate da azioni meccaniche.

Ci sembrano però più consentanee alla teoria dinamica del calore le opinioni emesse molti anni prima da Laurent e da Baudrimont. Secondo quest'ultimo, le molecole d'ogni corpo compirebbero, nell'unità di tempo, un certo numero di vibrazioni, aventi relazione non solo colla temperatura del corpo, ma ancora colla natura e costituzione dello stesso.

Lorquando si uniscono molecole eterogenee, formandosi un nuovo sistema molecolare, ne risulterà un cambiamento di temperatura per la perdita d'una certa quantità di moto vibratorio che vien acquistata dai corpi circostanti. Quando invece le molecole costituenti di un composto si separano le une dalle altre per ridursi allo stato d'isolamento, bisogna restituir loro la quantità di moto vibratorio dianzi perduta, togliendola ai corpi circostanti: poichè le molecole d'un corpo, sotto eguali condizioni, dovranno vibrare in egual modo.

A non far giudizio su la natura del moto molecolare, può dirsi che, quando le molecole eterogenee si aggruppano tra loro, risulta minore la forza viva necessaria a mantenere una data temperatura nelle molecole composte in confronto di quella voluta a mantenere la temperatura stessa nelle molecole componenti, prese isolatamente: cosicchè l'eccesso di quest'ultima forza viva su l'altra produce un aumento di temperatura nell'atto della combinazione, ed un raffreddamento nell'atto inverso della scomposizione.

A quel modo che a vincere la gravitazione molecolare di coesione nei solidi per ridurli liquidi richiedesi un certo lavoro dinamico, ossia richiedesi una certa quantità di calore (le calorie di liquefazione); similmente *a vincere la gravitazione molecolare di affinità tra le molecole eterogenee, per isolarle, richiedesi un certo lavoro dinamico*, ossia *una certa quantità di calore* (le calorie di combinazione), *la quale si manifesta poi quando le molecole segregate si riuniscono*; del pari che si fanno manifeste le calorie di liquefazione d'un corpo omogeneo, lorché da liquido si fa solido.

Si è visto addietro (§ 122) che le molecole dei gas di diversa natura, pur ad eguale temperatura, aver devono velocità differenti. Similmente accadrà che le molecole dei corpi eterogenei che trovansi in uno stesso stato fisico, sia poi solido o liquido, avranno velocità diverse ad una stessa temperatura. Laonde anche in un corpo composto la velocità molecolare differirà da quelle proprie de'suoi componenti, presi a parte; e *la quantità di calore manifestantesi nell'atto della combinazione sarà tanto maggiore quanto minore riescirà la velocità molecolare nel composto rispetto a quelle dei componenti*, ossia quanto più saldo sarà l'aggruppamento delle molecole eterogenee nel composto stesso.

§ 265. Favre e Silbermann, sperimentando sul calore prodotto dall'idratazione dell'acido solforico, trovarono che le calorie date dalla unione d'un grammo d'acido solforico monoidrato con un dato peso d'acqua riescono le stesse, sia che l'idratazione venga fatta a più riprese, colla successiva aggiunta di varie porzioni d'acqua, sia che la si faccia d'un sol tratto. Trovarono inoltre che, aggiungendo successivamente un costante peso d'acqua ad un grammo di acido solforico monoidrato, le calorie prodotte vanno ogni volta decrescendo sino ad incontrare un limite, quando cioè un'ulteriore idratazione non produce più alcun calore: così fa quando siasi già idratata con 9 equivalenti d'acqua, cioè quando abbia già date 148,5 calorie. Si può adunque considerare l'idratazione dell'acido anzidetto come la formazione d'un composto, secondo la legge delle proporzioni definite.

Aggiungeremo, secondo gli stessi sperimentatori, le calorie svolte dalla dissoluzione nell'acqua d'un grammo di altri acidi, presi però in istato gazo-
so:

Gas acido cloridrico	449,6	Gas acido jodidrico	147,7
» bromidrico	235,6	» solforoso	120,4

Il gas ammoniaco, disciogliendosi nell'acqua, diede calorie 514,3 per ogni grammo (a).

(a) Avrebbe si perciò una notevole differenza tra le calorie date dalla combi-

Questi fatti tendono a dimostrare che anco le soluzioni dei liquidi, gli uni negli altri, come pure dei gas nei liquidi, sebbene non sempre si verifichino secondo proporzioni determinate, devono però sempre attribuirsi a quell'energia fisica (chiamata affinità), alla quale soglionsi attribuire le chimiche combinazioni per proporzioni definite. Poichè le mutazioni di volume e di temperatura che intervengono nelle soluzioni rivelano una reciproca modificazione dello stato di aggruppamento molecolare nei corpi tra loro discioltisi, e quindi un'azione analoga a quella esercitata ne' casi di eterogeneità molecolare.

§ 266. Devesi ormai ammettere che *anco le azioni tra corpi eterogenei si compiano colle stesse leggi e per le stesse condizioni meccaniche colle quali compionsi i fenomeni fisici*. L'esercizio della gravitazione molecolare tra molecole eterogenee punto non differisce (quanto all'influenza delle masse relative e delle reciproche distanze) da quanto verificasi fra molecole omogenee.

V'è questa sola differenza, che le molecole omogenee, ad una data temperatura, presentano velocità tra loro eguali: laddove *le molecole eterogenee, innanzi la loro unione hanno velocità termiche diverse sotto una stessa temperatura*. È appunto per questa differenza di velocità che si perturbano e si urtano scambievolmente, così da modificarsi nella rispettiva loro sistemazione e tanto più quanto maggiore sarà codesta differenza di velocità. Talchè il conseguente aumento di temperatura e la conseguente modificazione di densità sono fenomeni in tutto analoghi a quelli sopra esaminati (§ 44) nell'urto dei corpi molli.

E probabilmente anche la possibilità dell'aggrupparsi tra loro due sistemi eterogenei dipende da ciò, che le rispettive velocità trovano rapporti di compatibilità piuttosto che d'impossibile coesistenza, al modo stesso che due suoni, secondo i rapporti delle rispettive vibrazioni, rispondono ad una consonanza piuttosto che ad una dissonanza (§ 126). Da qui anche l'influenza delle temperature su le combinazioni e molteplicità delle porzioni di unione, possibile fra due dati componenti.

§ 267. Citeremo ora alcuni fatti ne' quali l'affinità non sembra aver influenza, o ne esercita una ben debole.

Così è rimarchevole il calore prodotto dalla condensazione di alcuni gas nel carbone poroso. Indichiamo perciò le calorie pro-

nazione d'un grammo d'idrogeno col peso proporzionale d'azoto, secondo che l'ammoniaca prodotta viene disciolta, oppure rimane allo stato gasoso. Favre e Silbermann ottennero nel primo caso 10438 calorie, e quindi nel secondo caso avrebbero soltanto calorie 7576, poichè nel gas ammoniaco il peso dell'idrogeno sta a quello del composto come 3:17.

dotte dalla condensazione di un grammo di gas, ed il volume, in centimetri cubi, del gas condensato entro un grammo di carbone, secondo Favre e Silbermann.

	Calorie	Volume
Gas acido cloridrico	232,5	69,2
» solforico	139,9	82,2
» carbonico	129,6	45,2

Non v'è dunque relazione tra la diminuzione di volume nel gas corrispondente alla sua condensazione e la quantità di calore prodotto. Inoltre la condensabilità de' vari gas entro il carbone non sembra seguire il rapporto stesso della loro solubilità nell'acqua, come si dirà avanti.

Anche i metalli, indipendentemente da affinità, ponno esercitare sui gas tale un'azione condensante, da produrre un vivo calore. A quest'uopo giova che la superficie de' metalli sia molto estesa in proporzione della loro massa, e sia ben pulita e difficilmente ossidabile (a).

(a) Il platino in filo sottile ed aggomitolato, oppure in fina polvere, può condensare sino a 200 volte il proprio volume d'ossigeno. Qualora poi due gas suscettibili di combinarsi vengano condensati su la medesima superficie metallica, riesce favorita la loro combinazione, svolgendosi allora anco le calorie corrispondenti a quest'azione. L'idrogeno e l'ossigeno condensandosi e combinandosi sul platino spugnoso, lo rendono rovente e s'accendono; l'ossigeno e l'azoto producono acido nitrico; l'idrogeno e l'azoto danno ammoniaca. Il palladio, l'iridio ed il rodio provocano la combinazione dell'idrogeno coll'ossigeno, benchè presi, come il platino, alla comune temperie dell'aria: l'osmio dev'essere scaldato previamente a 45°, l'oro a 50°, l'argento a 120° o 130°.

Il ferro, il nichelo ed il cobalto, ottenuti in polvere finissima, col ridurli dai loro ossidi mediante l'idrogeno, s'inflammanno spontaneamente nell'aria per l'assorbimento e condensazione dell'ossigeno.

Una corrente di vapor d'etere o d'alcole sul platino spugnoso un po' caldo dà pur luogo ad ignizione. Un filo di platino piegato a spirale od una sottil foglietta d'oro, scaldati ed introdotti in un vaso contenente vapor d'etere, diventano incandescenti.

Il carbone, ridotto in finissima polve, ove sia ammucchiato in masse ragguardevoli, per esempio di chilogr. 15, entro vasi cilindrici, s'inflamma, incominciando il riscaldamento e l'ignizione verso l'asse. Facilmente s'inflamma anche la materia nera della sepià, che è sottilissima. Una risma di fogli di carta untì d'olio e compressi in una cassa si scaldò a 68°.

Similmente si scaldano i corpi organici disseccati, ove assorbano e condensino aria e vapor acqueo, come accade nella fermentazione dell'erbe imperfettamente disseccate ed ammucchiate, e nei mucchi di fieno, che talora si consumano per spontanea combustione.

§ 268. Una serie di fatti analoghi a questi venne osservata da Pouillet (1824). Bagnando con acqua distillata, con olio, con alcole, con etere acetico, con terebenteno alcuni solidi polverulenti, come fine limature metalliche, oppure ossidi insolubili, vetro, porcellana, mattoni, ridotti in polvere fina, riscontrò, a mezzo di termometri molto sensibili, avvenir sempre un'elevazione di temperatura, variabile da un quinto od un quarto di grado sino ad un mezzo grado, non tanto per la natura dei solidi e dei liquidi, quanto per la finezza delle polveri. L'olio gli diede minor effetto, forse per la sua viscosità e conseguente lentezza d'insinuarsi. Usando corpi porosi più minuti, come i solidi organici ben disseccati, ottenne effetti ben più distinti, rilevabili cogli ordinari termometri. Bagnando coi predetti liquidi carbone, farine, legni, lane, spugna, sostanza cornea, membrane, ecc., ottenne aumenti di temperatura variabili da 2° a 10° . Secondo Avogadro, cotesto calore sarebbe prodotto da una specie di condensazione dei liquidi, dovuta all'azione capillare esercitata dai solidi porosi.

Avendo io pure presi ad esame codesti fenomeni, giunsi a conclusioni poco concordi con quelle di Pouillet. Mi valse di termometri a mercurio assai più pronti di quelli usati dal fisico francese e poco meno sensibili (§ 166); e soprattutto curai con opportuno artificio che liquido e solido poroso fosser ridotti ad eguale temperatura all'atto dell'immersione, e che il solido avesse tale forma da adattarsi per bene ed estesamente alla superficie del serbatojo termometrico, avente la figura di un cilindro di piccol diametro e di non poca altezza. I solidi ridotti in polveri fine danno risultati assai incerti, molto variabili e poco pronti. Foggiai la carta bibula ravvolta a più strati ben serrati, l'argilla plastica, il carbone da ritorte agglutinato, la terra da pipe, ecc. a guisa di sottili astucci o ditali, il cui vano era ben commisurato alle dimensioni del serbatojo de' termometri, e li disseccai dianzi a 100° . Cogli astucci di carta ebbi, per medio di parecchie prove, i seguenti scaldamenti, tuffandoli rapidamente in un limitato volume di varii liquidi, e notando anco il tempo voluto a raggiungere la massima temperatura:

	Scaldam.	Tempo		Scaldam.	Tempo
Acqua . . .	$20,01$	$28''$	Benzina . . .	$0^{\circ},16$	$23''$
Alcole . . .	$0,46$	30	Glicerina . . .	$0,25$	25
Etere. . . .	$0,60$	17	Olio d'ulive. . .	$0,11$	12

Coi ditali d'argilla ebbi scaldamenti di $1^{\circ},72$ in $58''$, di $1^{\circ},87$ in $60''$ e di $2^{\circ},11$ in $19''$ rispettivamente, bagnandoli nell'acqua, nell'alcole e nell'etere. I ditali di carbone diedero rispettivamente $0^{\circ},37$ in $38''$

e 0°,47 in 21'' coll'acqua e coll'etere, coi quali liquidi i ditali di terra da pipe diedero 0°,35 in 17'' e 0°,89 in 14'', e quelli di calce spenta 0°,26 in 8'' e 0°,32 in 11'', pure rispettivamente immergendoli nell'acqua e nell'etere.

Laonde non regge l'asserto di Pouillet che un dato solido si scaldi egualmente bagnandolo con liquidi diversi, e nemmeno l'altro che un dato liquido con solidi differenti dia eguali scaldamenti, purchè sieno eguali le superficie bagnate. Ancor in questi fatti si fa manifesto che lo scaldamento ha relazione colla differenza nelle velocità molecolari tra solido e liquido che entrano in conflitto per contatto, come nell'altre azioni molecolari testè esaminate.

Ed in vero io sperimentai che i vapori dei predetti liquidi, appunto perchè in istato manifestamente dinamico (§ 165), condensandosi entro gli stessi astucci e cogli stessi termometri, produssero scaldamenti di molto maggiori che non facessero i liquidi rispettivi. Ecco gli aumenti di temperatura ottenuti introducendo i termometri muniti di codesti astucci entro bocce contenenti i vapori predetti alla rispettiva densità massima a 20°:

VAPORI DI

	<i>Acqua</i>		<i>Alcole</i>		<i>Etere</i>	
Ditali di carta	70,18	in 3/27''	3°,50	in 3/20''	4°,75	in 5/ —
id. argilla	5,65	» 4.36	3,75	» 3. —	4,53	» — 38
id. carbone	2,49	» 3. 6	2,58	» 2. —	—	—

Or, riflettendo che i vapori di acqua, alcole ed etere, in istato di massima tensione a 20°, avranno nelle bocce densità che stanno fra loro come 1:6,100, si rende evidente che gli scaldamenti suesposti, più che colla massa relativa dei vapori condensati, hanno relazione colle diverse velocità relative delle loro molecole (le quali stanno tra loro come 637:398:314), anzi coi quadrati di queste velocità (che stanno fra loro come 4,1:1,6:1). Laonde il calore prodotto si manifesta realmente rappresentativo della forza viva (§ 111) perduta dalle molecole de' vapori condensantisi entro il solido.

§ 269. Pur qualsiasi variazione nello stato d'aggruppamento molecolare d'un corpo, anche indipendentemente dalle azioni chimiche e dalle mutazioni nello stato fisico, è sempre accompagnata da una variazione nella temperatura. Così accade quando un corpo muta di stato allotropico, oppur passa da una ad altra forma cristallina, da uno ed altro stato isomerico.

Termogenesi negli animali.

§ 270. L'uomo, i mammiferi e gli uccelli mostrano nel loro interno una temperatura la quale mantienlisi sensibilmente costante, benché quella dell'ambiente varii d'assai coi luoghi e colle stagioni, e ne sia, d'ordinario, minore di molti gradi. Gli uccelli presentano temperature proprie, variabili da una ad altra specie, ma comprese tutte fra $38^{\circ},5$ e $43^{\circ},5$. Nelle differenti specie di mammiferi sono comprese tra $35^{\circ},5$ e 40° . L'uomo, quantunque viva in climi differentissimi, conserva una temperatura compresa fra 36° e $37^{\circ},6$. Queste classi di animali vertebrati sono perciò comunemente distinte dalle altre classi di vertebrati e dagli invertebrati, come aventi *sangue caldo*.

L'uomo può vivere tanto nelle regioni equatoriali, dove la temperatura media del mese più caldo dell'anno è di circa $+36^{\circ}$, quanto nelle regioni polari, dove nel mese più freddo avvi una media temperatura di -40° . Eppure la temperatura del suo corpo subisce ben deboli variazioni. Davy prese la temperatura di sei giovani e robusti marinai, mentre l'ambiente era a $15^{\circ},5$ una volta, ed un'altra a $26^{\circ},7$, e la trovò, per medio, nel primo caso $36^{\circ},8$ e nel secondo $37^{\circ},7$. Sembra però che nei piccoli animali l'influenza dell'esterna temperatura sia più sentita: così Edwards, prendendo la temperatura di parecchi passerii, la trovò $40^{\circ},0$ in febbrajo, $42^{\circ},0$ in aprile e $44^{\circ},8$ in luglio.

Riscontransi poi alcune differenze anche tra le temperature delle diverse parti dell'organismo d'uno stesso animale. Davy osservò in vari mammiferi che dalla cute procedendo verso l'interno d'ogni membro cresce tal poco la temperatura, e nell'interno cresce pure procedendo dalle due estremità del corpo verso il diaframma, mentre presso il cuore evvi la massima temperatura, ed entro il cranio v'è un calor minore che ne' visceri inservienti alla nutrizione. Osservò altresì essere il sangue venoso meno caldo dell'arterioso: per esempio, la temperatura del sangue dell'arteria carotide fu, per medio, superiore a quella della vena giugulare di $0^{\circ},67$ in cinque agnelli, di $0^{\circ},62$ in tre pecore e di $0^{\circ},66$ in due buoi. Questi risultati, avuti da Davy, introducendo nell'organismo degli animali viventi termometri piccolissimi, furono confermati da Becquerel adoperando gli aghi termoelettrici.

Nell'uomo dalla nascita sino all'età adulta la temperatura si fa più elevata e meno variabile: mentre nella vecchiaia tende a ridiscendere ed a farsi più variabile.

Varia pure la temperatura d'un animale secondo ch'ei si trova in

istato di veglia o di sonno, di moto o di riposo. Becquerel osservò che la temperatura d'un muscolo cresce sempre mentre lo si fa contrarre, e quest'aumento può giungere ad 1°.

Anche i rettili, i pesci, i molluschi, gli anellidi e gli articolati, benchè in un grado molto meno distinto, mostrano una temperatura loro propria. In queste classi di animali la temperatura varia col variare di quella del mezzo in cui vivono, ma riesce sempre tal poco superiore a quest'ultima. Nei rettili cotesto eccesso di temperatura, in generale, è compreso fra 4° e 0°,5, e nei pesci fra 3° e 0°,5, variando non solo colle specie, ma ancora coll'attività delle loro funzioni organiche nelle diverse epoche dell'anno. Però nei rettili viventi nell'aria la media temperatura di varie specie è un po' superiore di quella dei pesci, pei quali l'acqua, avente una conduttività ed una caloricità relativa ben maggiori che l'aria, opera più attivamente su l'animale per ridurlo all'equilibrio di temperatura. Così nei rettili si riscontrò, per medio di 20 specie esaminate da vari naturalisti, una *temperatura propria* (eccesso della temperatura del loro corpo su quella del mezzo) di 1°,82; mentre in 10 specie di pesci essa riesci, per medio, di 1°,16 soltanto (a).

§ 271. Dietro i suesposti fatti devesi ammettere che nell'organismo dell'uomo, dei mammiferi e degli uccelli, in istato vivente, siavi una fonte sua propria di calore. Quantunque parzialmente intraveduta da altri, può dirsi che la compiuta spiegazione di questo importantissimo fatto fisiologico venne data da Lavoisier. In parecchie successive memorie (1777 a 1790) egli provò: che, coll'atto della respirazione, i predetti animali tolgono dall'aria inspirata una certa quantità d'ossigeno, la quale, combinandosi col carbonio e l'idrogeno, forniti dal sangue, produce il gas acido carbonico ed una parte del vapor acqueo che vengono emessi colla espirazione polmonare e colla traspirazione cutanea. Intanto siffatte combinazioni, a modo delle combustioni, producono calore, il quale, col sangue, vien diffuso in tutto l'organismo dell'animale. D'altra parte la traspirazione cutanea e polmonare, variabile secondo l'esterna temperatura, e secondo l'età e lo stato di quiete o di moto dell'animale, col raffreddamento conseguente alla svaporazione de' liquidi ed all'espansione dei fluidi aeriformi, interviene a rendere costante il calore residuo dell'animale. Infine questi dovrà, cogli alimenti, supplire alle

(a) Pur in questi animali la temperatura delle parti più interne del corpo, e specialmente della massa muscolare, riesce maggiore che nelle parti superficiali. Davy trovò nell'addome d'un tonno un eccesso di 6°, 41 e nel mezzo dei muscoli dorsali di 7°, 22 sopra la temperatura dell'acqua marina da dove fu tolto; e nella massa muscolare d'altro tonno un eccesso di 10°.

continue perdite subite dal suo organismo. e specialmente dal sangue, per gli atti stessi di respirazione e di traspirazione.

I successivi studj di Edwards, Dulong, Despretz, Regnault, Bous-singault e Barral su questo argomento vennero a confermare e rischiarare sempre meglio cotesta tesi del celebre instauratore della chimica moderna.

Stimo anzi cosa conveniente il ripetere un aureo passo, col quale Lavoisier concludeva una delle sue memorie del 1789. *La macchina animale è governata da tre precipui moderatori: la respirazione, che consuma idrogeno e carbonio, e promuove calore; la traspirazione, la quale cresce o scema secondo che giova emettere una maggiore o minor quantità di calore; infine la digestione, che restituisce al sangue ciò ch'ei perde in causa della respirazione e della traspirazione.* Possiamo dire che in queste brevi frasi si riassumono altresì le ultime parole della scienza moderna circa codeste supreme funzioni degli animali a sangue caldo. Esse inchiodano ben anco il biasimo di quelle misteriose dottrine vitalistiche, le quali per gran tempo incepparono, e tuttodi rallentano i progressi della fisiologia.

Basterà citare una delle serie di esperienze di Lavoisier (1783). Rinchiuse un porchetto d'India sotto una campana sovrapposta ad un bagno a mercurio, e facendovi entrare una corrente continua d'aria pura, determinò l'acido carbonico contenuto nell'aria, che all'uscire dalla campana, attraversava de' tubi con potassa caustica. Per medio di varie prove, gli risultò che in 10 ore il detto animale emise coi gas espirati gr. 3,333 di carbonio, la cui combustione varrebbe a fondere gr. 349 di ghiaccio. Chiudendo di poi l'animale entro un calorimetro a ghiaccio, dove l'aria rimutavasi pure di continuo, trovò in 10 ore fusi gr. 502,3 di ghiaccio dal calore emesso dall'animale. L'eccedenza di questa quantità rispetto alla prima, come osserva Lavoisier, deve, in parte, dipendere dal raffreddamento subito dall'animale e specialmente nelle estremità del corpo, stando 10 ore in un recinto a 0°, e dall'analogo raffreddamento subito dai gas e vapori da esso esalati: inoltre, in un tale ambiente freddo, più celere esser doveva la respirazione che nol fosse sotto la campana, e quindi maggiore, in egual tempo, il consumo di carbonio. Nondimeno la predetta eccedenza proviene, in parte, anche dal non avere Lavoisier, nelle prime prove, tenuto conto di quella porzione d'ossigeno consumato nella respirazione che non combinasi col carbonio; come egli stesso verificò di poi (1785) direttamente sopra un animale della stessa specie, che su 100 parti d'ossigeno sottratto all'aria ispira ta 81 parti soltanto vengono emesse coll'acido carbonico espirato; e perciò le altre 19 parti devono, a suo avviso, combinarsi coll'idrogeno del sangue, formando acqua, e svolgendo quindi altro calore.

§ 272. Dulong e di poi Despretz (1822) eseguirono sopra diversi animali molte esperienze analoghe alle precedenti; ma adoperarono il calorimetro ad acqua invece di quello a ghiaccio, cosicchè, in una stessa prova, potevano determinare tanto il calore emesso dall'animale quanto l'ossigeno consumato e l'acido carbonico prodotto dalla respirazione, e quindi calcolare il calore che dovevasi in pari tempo produrre nell'interno dell'animale colla combustione del carbonio e dell'idrogeno consumati. Per tal modo Dulong ottenne, per medio di 15 sperienze, eseguite sovra diversi piccoli mammiferi e su diversi uccelli, che le calorie emesse dall'animale e direttamente comunicate al calorimetro stanno a quelle calcolate in base ai prodotti della respirazione, come 1,0 a 0,914. Altrettante esperienze di Despretz danno per medio per le stesse quantità di calore un rapporto poco differente, cioè di 1,0 a 0,916.

Pertanto, secondo questi dati, il calore prodotto da un animale a sangue caldo sarebbe per la massima parte originato dalle azioni chimiche inerenti alla respirazione. Anzi appare probabile che le dette due quantità di calore ridurrebbersi ad un perfetto accordo, ove si potesse tener conto del raffreddamento che subir deve l'animale stando a lungo in istato d'inazione entro l'apparecchio, per cui, probabilmente, all'uscire, l'insieme del suo corpo avrà una temperatura un po' minore di quella ch'esso aveva all'atto che lo si rinchiuse.

Più tardi (1848) Regnault e Reiset eseguirono un gran numero di esperienze sui fenomeni chimici che accompagnano la respirazione degli animali, con tale processo per cui rimane costante la composizione dell'aria ambiente all'animale anche per molte ore, e si ponno analizzare con precisione i prodotti della respirazione. Con una doppia pompa si toglie, in modo continuo, l'acido carbonico mano mano esalato, e si restituisce d'altra parte, pur in modo continuo, l'ossigeno sottratto per respirazione al mezzo ambiente.

Di tal modo verificarono che tutti gli animali assorbono ossigeno, il quale s'unisce coi materiali del sangue: e trovarono però che la quantità dell'ossigeno consumato in un dato tempo varia colla classe e colla specie zoologica, pur riferendolo ad un egual peso del loro corpo.

Similmente trovarono che tutti gli animali esalano acido carbonico, nel quale però si trova una quantità d'ossigeno sempre minore di quella assorbita. E una tale differenza varia colla classe e colla specie dell'animale, e negli individui d'una stessa specie varia colla natura del nutrimento. Presa in ogni caso per unità la quantità dell'ossigeno assorbito, quella dell'ossigeno esalato coll'acido carbonico, corrispose, per media di varie prove, alle seguenti frazioni:

Coniglio nutrito con	pane ed avena	0,997
id.	id. carote ed altre verdure . . .	0,919
Cane	id. pane ed acque grasse . . .	0,928
id.	id. carne cruda	0,745
id.	id. grascia di montone	0,694
Pollo	id. pane	0,976
id.	id. grani	0,927
id.	id. carne	0,677
Uccelli piccoli, col loro alimento usuale		0,753

Ora parte dell'ossigeno assorbito, che non è emessa coll'acido carbonico esalato, s'unisce all'idrogeno del sangue; ma, secondo i precedenti dati, questa proporzione può variare da 0,003 a 0,323 dell'ossigeno assorbito, e cresce in una stessa specie secondo che negli alimenti predominano le parti animali alle vegetali. Varierà di conseguenza la quantità di calore prodotto dalla combustione d'una stessa quantità d'ossigeno assorbito, poichè l'unità di peso d'ossigeno produce, secondo Favre e Silbermann, calorie 3000 combinandosi col carbonio, e 4308 unendosi all'idrogeno.

Riconobbero inoltre che nei mammiferi e negli uccelli l'acido carbonico svolto per traspirazione dalla cute e dal canale intestinale, giunge soltanto, per medio, a 0,008 di quello esalato coll'insieme delle funzioni di respirazione e di traspirazione. Di più essi si convinsero che nello stato normale le stesse classi di animali esalano sempre un po' di azoto, che, per medio, è minore di 0,01 del peso dell'ossigeno assorbito, e che, tranne un sol caso, non sorpassò mai i 0,02 del peso stesso.

§ 273. Boussingault (1843) e Barral (1848) si valsero di un altro metodo per valutare le quantità di carbonio e di idrogeno consumate giornalmente da un animale colla respirazione. Si sceglie un individuo adulto e sano, il cui corpo non varii sensibilmente di peso da uno ad altro giorno, e, lasciandolo all'aria libera, gli si danno appropriati e sufficienti alimenti, solidi e liquidi, de' quali si conosca il peso e la composizione. e si tiene pur conto di tutto che egli emette giornalmente in forma di feci e di urine. La differenza fra i singoli componenti degli alimenti e quelli degli escrementi darà il peso e la natura dei materiali emessi dall'animale colla respirazione e colla traspirazione.

Per mostrare di qual precisione sia suscettibile cotesto metodo, che chiameremo indiretto, citeremo una delle esperienze di Boussingault. Una tortorella pesante gr. 186,6, nutrita con miglio ed acqua a discrezione per 12 giorni, presentò una perdita giornaliera nel suo peso di soli gr. 0,25. Ora dall'analisi comparativa delle

materie ingerite come alimenti e bibite, e di quelle emesse fuori per esalazione e per escrementi, dedusse che questa tortorella, in un'ora, avrebbe, per medio, consumati gr. 0,211 di carbonio. Ebbene, la stessa tortorella, fatta vivere sotto una campana a corrente continua d'aria secondo il metodo di Lavoisier, emise colla respirazione gr. 0,209 di carbonio all'ora, per medio. L'accordo tra i risultati de' due metodi non poteva essere più soddisfacente. Inoltre il rapporto del peso totale dell'ossigeno assorbito per questa tortorella nutrita con miglio risulta 0,931, il quale ben poco differisce da 0,927 avuto da Regnault co' polli nutriti a grani, come s'è detto sopra.

§ 274. Lavoisier e Seguin (1789) riconobbero che l'uomo durante la digestione consuma una maggior quantità d'ossigeno che a digiuno; che nel riposo il consumo d'ossigeno è molto minore che durante il lavoro, specialmente se questo è compito con celerità, e che un tale consumo diminuisce poi coll'aumentare della temperatura esterna. Queste deduzioni furono confermate da Dumas e da Barral.

L'influenza dell'esterna temperatura su la respirazione nei mammiferi e negli uccelli emerge chiarissima dai seguenti risultati di molte serie di sperienze eseguite da Letellier. Si esprime in grammi l'acido carbonico prodotto in un'ora per respirazione da diversi animali sotto differenti temperature dell'ambiente:

	Peso del corpo	tra 30° e 40°	tra 15° e 20°	verso 0°
Un canario . . .	gr. 15,5	gr. 0,129	gr. 0,250	gr. 0,325
Una tortorella . .	142,3	0,339	0,684	0,974
Due sorci (assieme)	29,8	0,268	0,498	0,531
Un porchetto d'India	790,0	1,453	2,020	3,006

Pertanto, in proporzione al peso del corpo, nelle specie più piccole avvi un maggior consumo di carbonio. E, negli uccelli, l'aumento nella temperatura dell'aria è proporzionalmente maggiore che nei mammiferi. D'altra parte poi la traspirazione cutanea è più attiva nelle specie più piccole, ed aumenta la quantità dell'acqua esalata col crescere della temperatura.

Anche lo stato di torpore o d'assopimento, cui si riducono alcune specie d'animali nella fredda stagione, è accompagnato da una notevole diminuzione nell'attività respiratoria.

Quanto agli alimenti è chiaro che essi, in un individuo adulto, devono bastare al giornaliero consumo delle materie produttrici del calore, affinché l'organismo dell'animale non subisca perdite esso pure colla respirazione. Un individuo che affatica, consumando maggior quantità d'ossigeno, richiederà una alimentazione più abbondante di chi sta in riposo, e questa dovrà del pari essere tanto più co-

piosa, quanto minore sarà la temperatura dell'ambiente. I popoli delle regioni fredde consumano una quantità di alimenti, e specialmente di carni e di materie grasse ed alcooliche, ben maggiore di quella consumata dai popoli delle regioni più calde, i quali preferiscono le materie vegetali e zuccherine. Le specie piccole, a pari circostanze colle grosse, perdendo per traspirazione, per irradiazione e per l'azione raffreddatrice del mezzo una maggior quantità di calore, richiederanno anco un'alimentazione proporzionatamente maggiore. Per analoghe ragioni i giovani, anche indipendentemente da quella parte di alimenti che serve al continuo incremento del loro organismo, esigeranno per la respirazione, un'alimentazione più copiosa di quella occorrente pei vecchi.

Diamo però nel seguente specchio le quantità, in grammi, di carbonio e d'idrogeno consumate per respirazione, e di acqua esalata dai polmoni e dalla cute nel decorso di 24 ore da diversi animali. Si aggiungono le calorie prodotte dall'animale colla respirazione, quelle perdute per traspirazione e quelle cedute all'ambiente per irradiazione e per trasmissione, riferite però sempre queste varie calorie ad un'ora e ad un chilogrammo di peso dell'animale.

		Calorie							
		Età	Peso del corpo chg.	Car- bonio gr.	Idro- geno gr.	Acqua esalata gr.	pro- dotte per resp.	per- dute per trasp.	ce- dute al- l' am.
<i>Cavallo</i>	Bous.	...	412,5	2465,	24,4	7922,0	2,102	0,459	1,643
<i>Montone</i>	Bar.	...	27,0	208,6	...	781,1	2,601	0,691	1,910
<i>Tortora</i>	Bous.	...	0,187	5,07	0,124	9,98	10,104	1,284	8,820
<i>Uomo</i>	Lav.	35	60,0	312,9	22,39	1242,9	2,290	0,483	1,807
»	Bar.	29	47,5	289,0	18,56	1222,6	2,609	0,615	1,994
»	»	59	58,7	296,8	12,21	522,7	1,702	0,213	1,788
»	»	30-40	55,4	299,6	17,17	996,1	2,300	0,437	1,863

Poichè le calorie cedute in un'ora dall'uomo all'ambiente, lorchando questo ha una temperatura da 20° a 30° inferiore alla sua propria, sono appena bastevoli a scaldare di 2° tutto il suo corpo, si scorge che nelle regioni temperate, e massime nelle regioni fredde, gli abiti sono d'un grande sussidio all'uomo per menomare codesta perdita di calore e quindi anche il consumo delle materie alimentari che servono alla respirazione. Gli abiti fanno per l'uomo ciò che per gli uccelli ed i mammiferi delle regioni fredde fanno le piume e le pelliccie.

§ 275. Una macchina animale sarebbe adunque, per rispetto alla

produzione di forze motrici, paragonabile ad una macchina a vapore, dove la combustione ossigena del carbonio e dell'idrogeno dà svolgimento di calore, il quale parzialmente trasformasi in lavoro motore.

Termogenesi nei vegetali.

§ 276. Anche i vegetabili presentano una temperatura loro propria. I semi vegetali, quando sono in atto di germinare, hanno una temperatura sensibilmente superiore a quella dell'ambiente (α). I fiori d'alcune specie di piante, segnatamente all'epoca della fecondazione, offrono un rimarchevole sviluppo di calore. Anche le parti verdi de' vegetabili, dove sono più operose le funzioni inservienti alla nutrizione ed all'incremento loro, presentano, durante il giorno, e massime verso mezzodì, una temperatura tal poco più elevata di quella dell'ambiente.

Codesto calore è pure dovuto alle azioni chimiche che si compiono nei vegetabili. Nei semi germinanti, come negli animali che respirano, si osserva un assorbimento di ossigeno ed una esalazione d'acido carbonico e d'acqua: è una vera combustione del carbonio della fecola e dell'idrogeno delle materie grasse contenute nei semi stessi. Anche i fiori tolgono ossigeno all'aria ed emettono acido carbonico: però il consumo d'ossigeno in un fiore riesce massimo quando è compiutamente sbocciato; gli organi sessuali ne consumano, relativamente, più della corolla e gli stami più dei pistilli: nelle piante monoiche i fiori mascolini ne consumano più de' femminini. Queste differenze corrispondono alle temperature proprie delle varie parti dei fiori.

Nelle parti verdi ed ancor tenere dei vegetali, sotto l'azione dei raggi chimici del sole, succede invece la scomposizione dell'acido carbonico assorbito dalle foglie e dalle radici, e se ne svolge libero l'ossigeno; svolgesi pure dell'ossigeno proveniente dalla scomposizione dell'acqua contenuta nei tessuti. Durante l'oscurità della notte cessano affatto codeste decomposizioni; il tessuto vegetale, come un corpo poroso, opera sui gas ambientali, secondo le leggi di diffusione e d'endosmosi gasosa, senza far loro subire alcuna azione chimica.

(α) In un mucchio di frumento ed in altro d'avena, in istato di germinazione, Göppert (1832) osservò crescere la temperatura in 13 giorni da $1^{\circ},25$ a $18^{\circ},75$, in più su quella dell'atmosfera. Analoghi risultati ebbe coi semi ed anche coi bulbi di molte specie vegetali. Però nei casi in cui molti semi sono insieme ammucchiati la temperatura nell'interno s'accresce, più che nol farebbe ne' semi germinanti isolati, per una serie di azioni e reazioni del mezzo caldo su ciascun germe e del calore svolto da questo sul mezzo istesso.

Però, di giorno, mentre la riduzione dell'acido carbonico e dell'acqua, inerenti al tessuto parenchimatoso, vien operata a spesa dell'energia chimico-dinamica dei raggi solari, e mentre per efficace svaporazione il tessuto delle foglie tende a raffreddarsi, nel tessuto stesso s'effettuano pure numerose combinazioni chimiche, per cui il carbonio, l'idrogeno, l'ossigeno e l'azoto che il vegetabile prende dal suolo e dall'atmosfera in istato inorganico, costituiscono que' diversi composti organici, ternari e quaternari, neutri, acidi ed alcalini, che formano i suoi sughi, e che poi ponno servire di alimento ed anco di medicamento agli animali ed all'uomo. Queste ultime azioni chimiche di combinazione devono produrre il calore necessario a mantenere la temperatura propria nelle parti verdi.

Pertanto in ogni stadio della vita vegetale, nella germinazione, durante la vegetazione e nella funzione di riproduzione il calore proprio dell'organismo trae origine dalle azioni fisio-chimiche di nutrizione.

Del calor solare e terrestre.

§ 277. Il calor solare è la precipua fonte del calore che riscontrasi su la superficie terrestre. Però questo calore riesce molto inegualmente ripartito nelle diverse zone della superficie stessa, ed in ogni punto subisce notevoli variazioni nel corso d'un anno e nel corso d'ogni giorno. In causa del moto rivolutivo annuo della terra e della costante inclinazione serbata dal proprio asse di rotazione rispetto al piano dell'orbita, si verifica un periodo annuo di variazione nella temperatura, ed in causa del moto rotatorio diurno verificasi un periodo diurno.

Però i raggi calorifici del sole riescono tanto più efficaci quanto più la loro direzione si accosta ad essere normale alla superficie dei corpi nei punti d'incidenza. Quindi in un dato luogo più si scaldano il suolo e l'aria contigua quant'è più alto il sole sul corrispondente orizzonte: e similmente col diminuire delle latitudini dei luoghi ne cresce in essi la caldura. E, per l'emisfero boreale, massima riesce l'azione riscaldante del sole al solstizio di giugno e minima al solstizio di dicembre, ed in ciascun giorno cresce o scema l'azione calorifera mano mano che il sole va avvicinandosi o discostandosi dal punto culminante dell'arco diurno, corrispondente al moto apparente del sole.

Confrontando tra loro i dati relativi alle temperature medie mensili raccolte per moltissime località, emergono facilmente i seguenti rilievi:

a) la temperatura media annuale d'un luogo risulta, in generale, tanto maggiore quant'è minore la sua latitudine;

b) i luoghi molto elevati hanno, in generale, una media annua assai minore di quella de' punti poco elevati sul livello del mare ;

c) i punti situati in prossimità dei mari e dell'oceano, fruiscono di un clima più mite, cioè presentano minori differenze fra le temperature medie del verno e della state, che nol facciano i punti posti, ad egual latitudine nell'interno de' continenti, lungi da ogni vasto bacino d'acqua ;

d) le variazioni annue nelle temperature vanno mano mano diminuendo, a circostanze del resto pari, procedendo dalle regioni polari verso l'equatore ;

e) i punti molto elevati sul livello del mare, e segnatamente ov'essi siano a latitudini minori di 25°, offrono un clima poco variabile, analogo ad un clima marittimo ;

f) i punti aventi altitudini pur poco rilevanti, ma situati in regioni montuose, presentano climi molto differenti da quelli delle regioni piane, poste, del resto, in analoghe condizioni, dipendendo i primi da molte circostanze, come sarebbero la distanza, la direzione e l'elevatezza della catena principale, la direzione, l'altezza e il numero delle catene secondarie, l'andamento e l'ampiezza delle valli, la natura della loro vegetazione, la quantità delle acque scorrenti, la distanza da ampi laghi, ecc.

Valgano, ad esempio di coteste influenze, i seguenti dati su le temperature medie di alcune città d'Italia, dedotti da un novennio d'osservazioni, cioè dal 1866 al 1874 inclusivamente, dove s'espongono anche le medie temperature dei mesi di gennajo, aprile, luglio ed ottobre, che sono i mesi caratteristici delle singole stagioni.

STAZIONI	Latitudine	Altitudine sopra il mare	Media annua	Media dei mesi di				Differenza tra gennajo e luglio
				Gennajo	Aprile	Luglio	Ottobre	
ELEVATE . . .	Biella	456'34"	434.0	11.58	11.9	22.1	12.4	21.2
	Torino	45. 4	276.0	12.01	12.7	23.6	12.1	23.7
	Mondovì	45.43	556.0	11.04	11.0	22.3	11.7	21.2
	Urbino	43.43	451.0	12.62	11.7	23.3	13.0	20.2
	Siena	43.18	348.5	13.79	3.1	24.3	14.2	19.4
	Perugia	43. 8	520.0	12.60	3.9	23.4	12.8	19.5
	Camerino	43. 6	662.0	11.74	2.9	21.9	12.1	19.0
	Milano	45.28	147.1	12.91	0.5	25.0	13.0	24.5
	Pavia	45.11	97.8	12.85	0.4	24.9	13.1	24.5
	Alessandria	44.55	97.9	12.42	-0.3	24.5	12.5	24.8
POCO ELEVATE.	Modena	44.39	64.4	13.30	1.4	25.2	13.7	23.8
	Bologna	44.30	84.5	13.90	2.2	25.7	14.5	23.5
	Firenze	43.46	72.0	14.77	5.0	25.5	15.3	20.5
	Roma	41.54	49.6	15.27	6.7	25.1	16.2	18.4
	Napoli S. R.	40.52	149.0	15.72	8.1	24.4	16.5	16.6
	Venezia	45.25	20.2	13.77	2.7	25.1	14.4	22.4
MARITTIME . .	Genova	44.25	48.0	16.11	8.4	25.0	17.3	16.6
	San Remo	43.48	20.4	15.65	8.5	23.8	16.5	15.3
	Ancona	43.38	30.2	15.82	5.3	26.5	16.9	21.2
	Livorno	43.32	23.9	15.22	6.2	24.5	16.6	18.3
	Napoli O. U.	40.52	57.0	17.45	9.7	25.9	18.5	16.2
	Palermo	38. 7	72.2	17.79	10.6	25.6	19.5	15.4
	Reggio di Calabria	38. 6	23.0	18.23	10.9	26.3	20.9	15.4
	Catania	37.30	31.2	18.49	10.8	27.1	20.4	13.3
	Siracusa	37. 3	12.6	18.21	11.3	26.0	20.4	14.7

Laonde, a rendere assai vario il clima ne' diversi punti della superficie terrestre, oltre l'inclinazione dell'asse terrestre rispetto al piano dell'orbita, concorrono assai efficacemente la varia figura, estensione e distribuzione dei continenti e delle acque, e le variate elevazioni, direzioni, ampiezze e distanze delle catene montuose e delle interposte vallate.

Le acque dei mari, dell'oceano esercitano una grande influenza per rendere temperato il calore su la superficie terrestre, in causa della grande loro caloricità relativa, della debole loro conduttività pel calore, dei moti che in esse si provocano per le variazioni di densità, del raffreddamento conseguente alla loro svaporazione, e delle correnti in esse suscitate dai venti alisei.

La *temperatura media annua* d'una data località corrisponde al valor medio delle temperature medie diurne che ivi si verificano nei singoli dì dell'anno; dev'essere però desunta da una serie d'osservazioni continuata per molti anni. Per *media diurna* s'intende il valor medio delle temperature rilevate ad ogni ora del giorno, oppure ogni tre ore ed anche solo ogni quattro od ogni sei ore. Meno attendibile è la pratica di valersi invece della semisomma delle due temperature estreme (la massima e la minima) date di per di da un termografo.

Per ottenere con approssimazione la temperatura dell'aria ad un dato istante, il termometro dev'essere esposto al nord, sottratto non solo dai raggi diretti del sole, ma ancor dal calor radiante riverberato dagli oggetti circostanti, e dotato di molta prontezza ed insieme d'una sufficiente sensibilità da valutare con sicurezza i decimi di grado. Ad attenuare l'influenza dell'irradiazione dei corpi circostanti e ad accelerare la comunicazione del calore proprio dell'aria giova il ruotare rapidamente il termometro, o meglio il rimutare rapidamente l'aria d'intorno al termometro, siccome ottiensì comodamente col ventilatore annesso al suddescritto psicrometro (§ 194).

Denominansi *linee isoterliche* quelle linee che congiungono i diversi punti della superficie terrestre, pei quali risulta eguale la media temperatura annua. A mettere però in rilievo le diverse influenze locali su la ripartizione del calore solare sul globo, valgono meglio le *linee isochimeniche* ed *isoterliche* (a), quelle cioè che accennano i punti pei quali riesce eguale la media jemale o la media estiva. Nel-

(a) Da χειμὼν, inverno, e θερος, estate. Avvertasi che, a differenza delle stagioni astronomiche, le stagioni meteoriche si ritengono così costituite: l'inverno dai mesi di dicembre, gennaio e febbraio; la primavera da marzo, aprile e maggio; l'estate da giugno, luglio ed agosto, e l'autunno dai mesi di settembre, ottobre e novembre.

l'Europa continentale, per esempio, procedendo da E. ad O., le isochimeniche s'alzano verso il polo, mentre le isoteriche s'abbassano verso l'equatore; e ciò più distintamente nelle regioni poco discoste dall'Oceano Atlantico che nell'interno del continente. Le linee isochimeniche che attraversano l'America settentrionale volgono la loro convessità verso l'equatore, e le isoteriche la volgono invece verso il polo, e la sommità d'ogni curva riesce pressochè nel mezzo del continente stesso. Tutto ciò accenna l'influenza dell'acqua sul menomare le temperature estreme (le più basse e le più elevate) nei luoghi ad esse finitimi.

§ 278. Del fatto che la temperatura dell'atmosfera, a condizioni pari nel resto, va diminuendo coll'aumentare dell'altitudine dei luoghi sul livello del mare danno ragione la singolare diatermicità (trasparenza pei raggi termici) e la debole conduttività termica dell'aria, per cui essa si scalda specialmente in opera di calore trasmessole dal suolo e dall'acqua che formano la superficie terrestre; al che si aggiunge il raffreddamento indotto dall'espansione nella stessa aria calda che s'eleva attraverso strati a pressione decrescente. Però la legge di questo decremento nella temperatura, ossia il rapporto fra il decremento stesso e l'altitudine, varia da luogo a luogo, secondo la natura, conformazione e postura del suolo, la direzione dei venti dominanti, ecc.; e varia per uno stesso luogo col variare delle stagioni e delle ore e dello stato dell'atmosfera. Dividendo la differenza in altitudine tra due luoghi, le cui verticali siano poco discoste fra loro, per la differenza tra le temperature riscontrate nei luoghi stessi, trovasi l'aumento medio nell'altitudine corrispondente al decremento di 1°. Nelle latitudini superiori a 45° quest'altezza nell'estate riesce sensibilmente minore che nell'inverno, e nelle ore più calde del giorno minore che nelle più fredde.

Le nevi, che mantengonsi sulle cime de' più alti monti anco nell'estate e pur nelle regioni poco discoste dall'equatore, mettono in evidenza il surripetuto decremento nelle temperature dell'atmosfera. Chiamasi *limite delle nevi perpetue* l'altezza media della linea che termina inferiormente la parte del versante d'un monte ove la neve caduta nel verno mantienisi, almeno in parte, per tutto l'anno. Costo limite va, in generale, elevandosi col diminuire delle latitudini: però nell'interno dei continenti, dov'è minore la quantità di neve cadente nell'inverno e dov'è più calda la state, il limite stesso riesce più elevato che nol sia, a pari latitudine, in prossimità dei mari. Hanno pure influenza su questo limite le condizioni locali.

Schwabe (1843) scoperse che le macchie solari seguono un periodo, per cui ora presentano un massimo ed ora un minimo sì nel numero che nell'estensione. Ora, consultando i registri meteorologici di varj

paesi, si trova che la temperatura annua risulta minore quando cade un massimo per le macchie, e maggiore quando cade un minimo. Codesto periodo si compie in circa 11 anni.

§ 279. Poichè la temperatura media della superficie terrestre, nel suo complesso, mantienisi costante — almeno da che si poterono istituire regolari osservazioni termometriche (*a*) — convien dire che siano tra loro eguali la quantità di calore che essa riceve dal sole e dallo spazio planetare e quella che essa emette per irradiazione verso lo spazio stesso. Qualora si potessero determinare coll'esperienza il calore che le giunge dal sole e quello ch'essa irradia, se ne arguirebbe la temperatura dello spazio in cui si muovono la terra ed i pianeti del sistema solare; temperatura che in ogni punto corrispondere deve alla risultante dell'irradiazione termica di tutte le stelle, e segnatamente di quelle che meno si discostano dal sole. Laplace, Fourier, Svanberg, Poisson, Pouillet, Forbes, Quetelet, Liais e Hopkins s'occuparono di quest'argomento; ma i risultati delle loro indagini non sono abbastanza concludenti.

Si può nondimeno ritenere probabile con Liais che la temperatura propria dello spazio in cui si muove il sistema solare sia poco superiore a — 100°. Cotesta temperatura sarebbe la risultante delle radiazioni termiche delle stelle circostanti; avendosi dirette esperienze che provano la sussistenza di queste radiazioni. Però codesta temperatura, benchè assai bassa, sarebbe pur molto superiore allo *zero assoluto* delle temperature.

In base alla teoria dinamica dei gas retro esposta (§§ 122, 195 e 258) può ammettersi che lo zero assoluto corrisponda a quella temperatura per cui, anche in un gas perfetto, si ridurrebbe nulla la forza espansiva, ritenendo cessato nelle sue molecole ogni moto termico, che è la condizione fisica della forza espansiva. Così, immaginando un termometro costituito da un gas perfetto, e supponendo che la temperatura sia determinata dalla sua forza espansiva, serbandolo a volume costante, è da porre lo zero assoluto di temperatura a quel punto della scala termometrica per cui in cotesto gas diverrebbe zero la tensione, ritenendo altresì che esso mantenesse le qualità

(*a*) Dalle osservazioni termometriche istituite, in Toscana, dagli Accademici del Cimento verso la metà del secolo XVII, e specialmente da quelle continuate da Ranieri in Firenze dal 1655 al 1670, e dallo studio fatto da Libri (1830) sui termometri da essi adoperati, risulta che da ormai due secoli il clima di quel paese non variò sensibilmente, non ostante il diboscamento degli Apennini, operatosi dal 1770 in poi. Lo stesso fatto emerge dalle osservazioni intraprese da oltre un secolo a Parigi, a Bruxelles, a Londra, a Berlino ed a Milano. Però in America, lo sboscamento, ove fu eseguito su ampie estensioni, ridusse gl'inverni meno freddi e le estati meno calde.

di gas perfetto sino a tale temperatura. Siccome però in tutti i gas opera tal poco la coesione, così i risultati immediati delle esperienze ponno indicare la temperatura stessa soltanto per approssimazione. Se non che questa s'avrà tanto meglio quanto più raro sarà il gas, qual è l'idrogeno. Infatti questo gas, oltre al non essersi mai potuto liquefare (§ 231), meno di tutti gli altri si scosta dalle leggi teoriche di comprimibilità meccanica (§ 140) e di dilatabilità termica (§ 176). Pertanto, posta t la temperatura ricercata (lo zero assoluto), riferita allo zero della comune scala termometrica (temperatura del ghiaccio fondentesi), e posto δ l'aumento nella tensione del gas per l'incremento di 1° (coefficiente di dilatazione cubica a volume costante), dovendo essere:

$$1 - \delta t' = 0, \text{ ossia } t' = \frac{1}{\delta},$$

s'avrà $t' = -272^\circ,65$, assumendo $\delta = 0,0036678$ secondo Regnault (pag. 367); ovvero, prossimamente lo zero assoluto è inferiore 273° allo zero convenzionale.

§ 280. Attesa la debole facoltà conduttiva per il calore che è propria delle terre o delle rocce formanti il suolo, massime ove esse non siano permeabili dall'acqua, accade che a poca profondità, al disotto della superficie, sono poco sentite o si fanno anco insensibili le variazioni diurne e mensili nel calore che loro perviene dal sole. In generale, alle latitudini poco differenti dalla media cessano d'esser sensibili le variazioni diurne nella temperatura alla profondità di poco oltre un metro. E le variazioni annue riduconsi a circa 1° soltanto ad 8 o 9 metri di profondità; non eccedono $0^\circ,1$ fra i 15 e 16 metri, e divengono affatto insensibili a 25 metri all'incirca.

Dal 1783 in poi la temperatura d'un sotterraneo a met. 27,6 al disotto del selciato della specola di Parigi si mantenne ad $11^\circ,70$, quantunque il termometro sia tanto sensibile da accennare i centesimi di grado.

Una siffatta profondità, riferita al livello medio del suolo d'una località, là dove incomincia a riuscire insensibile la variazione annua nella temperatura, denominasi *strato a temperatura invariabile*. A Strasburgo, a Zurigo ed a Bruxelles, come a Parigi, la profondità di esso è di circa 25 metri. Però codesta profondità va diminuendo col diminuire dell'ampiezza della variazione annua alla superficie, e della conduttività del suolo. Nelle regioni comprese fra i tropici, secondo Boussingault, lo strato anzidetto riesce, per medio, ad una profondità di circa un terzo di metro soltanto. In generale poi la temperatura dello strato medesimo in una data località è di poco superiore alla media annua che quivi si verifica alla superficie del

suolo. Ma un tale eccesso di temperatura, che è trascurabile all'equatore, va crescendo colla profondità dello strato stesso, e quindi anche col crescere della latitudine. Alla latitudine media è di 1° circa.

§ 281. Inferiormente a codesto strato, si osserva, in qualunque località, che la temperatura, pur sempre invariabile nel decorso d'un anno per ciascun strato, va aumentando da uno strato all'altro colla rispettiva profondità. Però varia tal poco da una ad altra località il rapporto fra l'incremento della temperatura e quello della profondità, a motivo forse della diversa conduttività delle varie rocce pel calore. Queste osservazioni provano la sussistenza d'un calore proprio (cioè non derivato dal sole o dallo spazio, considerati nelle rispettive attuali condizioni) delle parti più interne del globo terrestre.

Già da tempo erasi avvertito che le gallerie più profonde delle miniere si mantengono sensibilmente più calde della media temperatura dell'esterno ambiente. Ma l'aria che si fa circolare entro di esse, produce notevoli modificazioni nella temperatura delle rocce che ne formano le pareti, segnatamente ove queste siano tal poco conduttrici del calore. Più attendibili sono le osservazioni fatte nei pozzi trivellati (detti artesiani), o nelle acque che sgorgano da essi.

Eccone alcuni esempi:

	Profon. totale	Temper. osserv.	Profondità per l'aumento di 1°
Pozzo di Grenelle (Parigi)	met. 548	27°,7	met. 32,5
Saint-André (Eure) »	400	23,5	» 31,5
Mondorff (Lussemburgo) . . . »	502	25,6	» 31,0
Torcy (Creusot) »	554	27,2	» 30,7
Mouillelonge (ibid.) »	816	38,3	» 28,0
Colombo (Ohio) »	785	31,1	» 38,2

Il recente traforo del Cenisio mette pure in evidenza la generalità di questo fatto. Nel dicembre 1870, mentre presso l'imbocco meridionale della galleria la roccia offriva circa 11°, verso il mezzo della sua lunghezza si giunse a 29°,5, là dove la cresta dell'alpe che le sovrasta di metri 1600, offriva una media annua di circa — 2°.

Le sorgenti termali, le quali erogano acque aventi una temperatura molto maggiore della media annua alla superficie, acque che ponno provenire, per pressione, da strati molto profondi, mostrano che costoso calore proprio della terra, va crescendo anche a profondità maggiori delle anzidette.

Così le acque termali di Carlsbad in Boemia segnano 73°; in America le sorgenti di Valencia danno 90°. I grandi getti d'acqua calda dell'Islanda, detti Geyser, segnano oltre 100°, esplorandone la temperatura innanzi il loro erompere dal suolo.

Ma i molti vulcani che esistono alla superficie del globo mostrano chiaramente che il predetto aumento di temperatura deve estendersi

a profondità assai maggiori. Alcuni, da tempo immemorabile, non eruttano nè lave, nè lapilli, nè vapori o gas. e perciò si dicono estinti; altri si mostrano tuttora attivi, producendo tratto tratto delle eruzioni.

Qualora fosse costante l'incremento di 1° ogni met. 30, alla profondità di chilom. 47,7 sarebb'una temperatura di 1600°, valevole a fondere il ferro, ed a chilom. 60 quella di 2000°, per la quale si può ritenere che tutte le materie costituenti la superficie terrestre esser dovrebbero in istato liquido, od almeno pastoso.

Ove ciò fosse, la corteccia solida, non possiedendo, come dimostrò Belli (1851), una sufficiente consistenza per reggere al proprio peso, a guisa d'una volta, dovrebb'essere sorretta dalla sottostante massa fluida, per pressione, a guisa d'un galleggiante (a).

I resti fossili di molte famiglie di vegetali e d'animali, capaci di vivere soltanto ne' climi caldi, che rinvengonsi sepolti nei terreni superficiali delle regioni più fredde; i molti vulcani estinti che trovansi in varie parti della superficie terrestre; le varie rocce di trabocco (graniti, porfidi, serpentini, melafiri, ecc.) che rincontransi diffuse entro i terreni di sedimento, o con questi alternanti; i varj sollevamenti avvenuti negli stessi terreni di sedimento, con maggiore o minor lentezza, e la figura distintamente elissoidica che ci presenta la superficie terrestre, anche nelle pareti solide, concorrono a provare che, in epoche lontane, il calore proprio della terra manteneva anche negli strati superficiali una temperatura più elevata che non sia di presente, e che anzi in epoche ancor più remote, le stesse parti superficiali furono, per altissima temperatura, in tale stato di fluidità da modellarsi, in ogni parte, a seconda della risultante delle forze di gravità e centrifuga, suscitata quest'ultima dal moto rotatorio diurno del globo stesso.

(a) Anche supponendo l'involucro solido formato d'un unico pezzo, senza alterazione di continuità e di coesione, e foggato a guisa d'una immensa volta sferica; ponendo la densità media delle materie che lo costituiscono compresa fra 2,5 e 3,0, e ritenendo col Baily 5,67 la densità media di tutto il globo, trova il Belli che d'un tale involucro, ritenuto della grossezza di chilometri 60, rimarrebbe sostenuta dalla propria resistenza alla compressione soltanto una porzione ben piccola, cioè uno strato grosso metri 171, ove fosse tutto di porfido, metri 56 se di granito, e metri 23 soltanto se di calcare cristallino. Quand'anco fosse di ferro fuso, reggerebbesi solo uno strato di met. 333 di grossezza, corrispondente appena ad un centottantesimo della totale grossezza dell'involucro medesimo. Ove poi si rifletta che la crosta terrestre è costituita da rocce eterogenee per composizione e struttura, e in generale ben poco coerenti o interrotte da numerose ed estese fenditure, emerge chiaro che un così fatto involucro non potrebbe reggere al proprio peso senza schiacciarsi e fratturarsi, qualora non fosse sostenuto dalla spinta verticale esercitata dal basso all'insù da uno strato liquido, sul quale esso deve premere colla massima parte del suo peso, quella cioè che non è sorretta dalla propria consistenza.

CAPO IX.

DI ALCUNE AZIONI MOLECOLARI

§ 282. Già le cose discorse nel capo III relativamente alle condizioni fisiche dell'operare delle pressioni di gravità e di coesione in un liquido, e più quelle dette nei capi IV e V riguardanti le proprietà di espansività nei gas, e di elasticità e coesione nei solidi e nei liquidi, ci trassero a concludere che un fluido qualsiasi, ancora quando lo si asserisce in istato di quiete relativa e di temperatura costante, tiene le sue molecole in uno stato di continuo moto intestino, che è la condizione prima della sua elasticità. E nel capo VI s'è pur visto come si ne' solidi che ne' fluidi la elasticità sia la condizione fondamentale della produzione e propagazione dei suoni, e come le vibrazioni molecolari elastiche e sonore ponno essere tanto rapide anco in corpi solidi assai coerenti, da corrervi parecchi chilometri in un solo minuto secondo. E finalmente nel capo VII s'è mostrato come i fenomeni termici, per la loro manifestazione, sempre richiedono modificazioni nello stato molecolare, od effettivi movimenti intestini de' corpi.

Ora possiamo dimostrare con altri fatti abbastanza importanti per la loro generalità, che ne' corpi tutti, e più facilmente ne' fluidi, si ponno mettere in evidenza i movimenti molecolari, che sono condizione indispensabile all'esercizio di altre loro proprietà fisiche.

Espansività dei liquidi.

§ 283. Una goccia di un liquido, posta su di un piano orizzontale bagnabile da essa, tende a distendersi su di questo, tanto per azione della gravità, quanto per azione capillare. Però più facilmente si allargherà la goccia, ove il piano presenti un attrito minimo (come quando questo è dato dalla superficie libera d'altro liquido che non abbia affinità per essa), e qualora sia debole la coesione nella goccia stessa, come è nei liquidi che meno si innalzano nei cannelli capil-

lari, e come accade per ogni liquido col crescere della temperatura. La viscosità invece tenderà a rendere più lento il distendersi della goccia. In molti casi a render pronto l'allargamento della goccia, sembrano intervenire i vapori contenuti in istato di massima tensione nei vani intermolecolari del liquido stesso, poichè codesti vapori tenderanno a svolgersi là dove non s'eno trattenuti dalle forze molecolari del liquido, cioè presso la superficie libera di questo. A render più complesso un tal fenomeno sorviene molte volte l'affinità.

È notevole che i liquidi combustibili e gli acidi son quelli che più distintamente si espandono: epperò in generale, sono più espansivi i liquidi ne' quali è minore la caloricità specifica a volume (§ 159), come appunto sono gli olii, le essenze, gli eteri, gli alcoli, gli acidi, e massimamente la benzina, l'amilene, il cimene, il toluene, il petrolio, il cloroformio ed il solfuro di carbonio. Ora s'è veduto (§§ 110 e 159) che codesti liquidi sono anche i meno coerenti, in paragone dell'acqua.

Interessanti sono le osservazioni istituite da Fusinieri (1821) sui fenomeni che accompagnano le espansioni delle gocce di moltissimi liquidi. Prima di lui aveva toccato l'argomento il Carradori senza molto approfondirlo: e dopo il Fusinieri ne scrissero il Mossotti, il Faraday, il Tomlinson ed il Gore (1863), ma con minore estensione. Sono pregevoli le indagini sull'argomento di Marangoni (1865 e 1870), di Pisati (1868), di Lüdte e di Mensbrugghe (1869).

Si prenda un largo piatto, coperto di uno strato d'acqua, e vi si posi con delicatezza una goccia d'olio d'ulive ben fluido: in brevissimo tempo questa si allarga sino ad investire tutta la superficie dell'acqua, assottigliandosi per modo da offrire per riflessione una serie di anelli colorati, quali si mostrano nelle lamine estremamente sottili. Dopo di che la massa della goccia in gran parte si concentra, formando parecchie goccioline disseminate sulla predetta superficie. Convien però ammettere che alcun'altra parte della goccia rimanga distesa od aderente al liquido sottostante, anche al di là degli anelli colorati, formandovi quasi una rugosità reticolare, poichè altra goccia dello stesso olio ivi collocata o vi sta in forma lenticolare o ben poco vi si distende. Se non che codesta resistenza superficiale, o meglio codesto residuo lasciato dalla prima goccia, può esser rimosso da una goccia di un liquido più espansibile, quale sarebbe un olio volatile di menta o di altra essenza, scorgendosi allora rapidamente scacciate tutt'all'intorno le predette goccioline.

In pari modo può ottenersi l'espansione delle gocce di olii grassi o volatili, di liquidi acidi, alcalini o salini sulla superficie dell'acqua.

Il Pisati suggerì per questi sperimenti un comodo apparecchio. È un largo vaso di latta di poca altezza, sul cui fondo sbocca un tubo

adduttore dell'acqua, munito di chiave, e che porta all'esterno un vaso annulare che accoglie l'acqua su la quale siasi già espansa qualche goccia, dovendosi ogni volta rinnovare per bene la superficie di espansione. E così con poco volume di acqua si ottiene di eseguire molte prove. Meglio vale poi adoperare gocce assai piccole, quali si portano con fili acuminati di vetro o di metallo, potendosi allora scorgere che, pur oltre lo spazio occupato dagli anelli colorati, si espande per gran tratto un velo tanto sottile che non dà colori ma si rende sensibile o colla sospinta esercitata su' corpicelli galleggianti su l'acqua, o colla resistenza opposta all'espandersi d'altre gocce ivi posate. A render meglio evidenti i limiti dell'espansione di una goccia, torna opportuno il soffiare prima su la superficie dell'acqua un leggier polverio di licopodio o d'altra polve finissima e poco densa.

Anche sul mercurio accade l'espansione dei predetti liquidi organici, ma per essi la riesce molto meno pronta e meno estesa: più rapidamente si espandono gli acidi e massime il nitrico.

Analoghe espansioni, ma ancor meno estese, si ottengono colle essenze, coll'etere, coll'alcole, colla benzina, col petrolio, col toluene, coll'amilene ed altri carburi d'idrogeno sovra la faccia piana e ben orizzontale di una lente piano-convessa. In questo modo si rende meglio dimostrata l'espansività propria della goccia liquida, tolta essendo ogni influenza di contrattilità del liquido sottoposto.

Qualora poi la goccia che si fa espandere sull'acqua appartenga ad un liquido assai viscoso, com'è l'olio di ricino, dopo una lenta e limitata distensione, si osserva una repentina proiezione di goccioline da tutto il suo perimetro, quasi a modo di una esplosione. Così fa anche l'acido solforico sul mercurio.

Analogamente un minuzzolo ben sottile di qualsiasi metallo (anco di quelli non suscettibili di combinarsi col mercurio a bassa temperatura, come il ferro) posato sul mercurio un po' caldo, in breve tempo, quasi si liquefacesse, si distende formando una larga aureola colorata. Piccoli minuzzoli di canfora o di acido benzoico, posti su uno strato d'acqua, prendono un celere movimento giratorio, il quale tosto cessa, posando su quell'acqua una goccia d'olio. Similmente si muovono espandendosi il fosforo e l'iodio sul mercurio.

Già una plausibil cagione del fenomeno apparirà quando si pensi: che in ciascun liquido gli spazii intermolecolari esser devono sempre saturi dei vapori suoi, i quali, nell'atto appunto che la goccia si spiana, svolgeranno la loro energia espansiva (§ 207) in quanto eccede le reciproche gravitazioni delle molecole liquide, e solleciteranno queste ad un più rapido moto di livellamento. Ma una causa più generale del fenomeno si avrebbe nello stato dinamico delle molecole liquide da cui deriva la stessa forza evaporante dei liquidi (§ 208).

Devesi però notare che codesto moto d'espansione, al pari di quello di evaporazione (§ 223), non può compiersi che a detrimento della forza viva termica delle molecole stesse e non può quindi effettuarsi senza un correlativo raffreddamento. Così il Fusinieri con un piccolo pezzetto di fosforo, tenuto con una pinzetta, e portato a toccare la superficie del mercurio caldo, osservò che la parte di esso che si espande non s'infiama, come fa l'altra parte di fosforo che rimane attaccata alla pinzetta in istato di massa, appunto perchè la prima deve raffreddarsi in relazione al nuovo movimento d'espansione da essa assunto. Similmente osservò che il potassio ed il jodio, espandendosi sul mercurio, non s'infiammano, benchè fusi ed in contatto coll'aria.

Diffusività dei gas.

§ 284. *Quando due o più gas di natura diversa, che però non esercitano tra loro azione chimica, si trovano in equilibrio entro recipienti separati, i quali si fanno poi comunicare tra loro per appositi tubi, si diffondono scambievolmente gli uni negli altri, sicchè, trascorso un certo tempo, si ha una miscela uniforme, tale cioè che in ogni parte della capacità dei vasi comunicanti si riscontrano i diversi gas frammisti nelle stesse proporzioni. E ciò quand'anco le forze espansive sieno dappprincipio eguali in tutti, quand'anco i gas specificamente più pesanti stiano superiormente ai più densi, e quand'anco durante il succennato tempo siasi ovviata ogni causa esterna di agitazione.*

E quando la mischianza è compiuta, la forza espansiva della medesima corrisponde alla somma delle forze espansive primitive di ciascun gas, riferita però ognuna alla totale capacità dei vasi comunicanti, giusta la legge di Boyle, qualora le pareti di questi siano inestensibili, e la temperatura sia rimasta costante.

Così Berthollet avendo disposto in un profondo sotterraneo dell'Osservatorio di Parigi due palloni, l'uno sovra l'altro, comunicanti per mezzo d'una tubulatura munita di chiave, il superiore contenente gas idrogeno, e l'inferiore gas acido carbonico, con ugual forza espansiva, ed avendo poi aperta la chiave, dopo che i gas erano per bene tranquillati, e pur stando costante la temperatura, trascorso alcun tempo, esaminò il contenuto di ciascuno di essi. Così trovò che parte dell'acido carbonico era salito nel pallone superiore, mentre parte dell'idrogeno era sceso nel pallone di sotto, in opposizione alla legge della gravità specifica dei detti gas, tanto che erasi formata una miscela uniforme.

Dobereiner osservò uscire l'idrogeno dalla fessura molto sottile d'una campana, senza che vi entrasse altrettanta aria, sicchè saliva

entro di essa l'acqua sulla quale riposava. Magnus ripeté l'esperienza sul mercurio, sovraponendovi altra campana contenente aria: il mercurio si levò circa 25 mill. nella campana contenente idrogeno. Anche ponendo aria nella campana interna ed acido carbonico nell'esterna, ottenne un effetto analogo: il gas meno denso fece irruzione prevalente verso il più denso.

Gram chiudendo il gas in un tubo orizzontale alquanto largo, al quale annetteva un cannellino assai fino e piegato ad angolo retto, neolgeva però l'estremo aperto all'insù, se il gas era più denso dell'aria, e reciprocamente loolgeva all'ingìù, essendo il gas meno denso. Sempre trovò che il gas interno esciva in qualche parte, entrandovi aria: ma con varie proporzioni secondo la natura del gas: meno densi effluiscono dal cannello in quantità maggiore. Lo stesso ottenne facendo effluire il gas dal cannello verso un gas differente dall'aria.

Così egli dimostrò che *i poteri di diffusione dei diversi gas*, ossia le quantità in volumi con che ciascun d'essi passa da uno ad altro recipiente, ad eguali circostanze ed in tempi eguali, *sono inversamente proporzionali alle radici quadrate delle rispettive loro densità.*

Analogo fenomeno succede ancor quando i gas ponno comunicare tra loro per dei canali capillari di un solido poroso.

Graham verificò altresì che quando un gas può escire da un recipiente passando verso uno spazio vuoto attraverso un pertugio piccolissimo praticato in lastra sottile, come sarebbe una puntura fatta con finissimo ago in una foglietta di platino, vi si precipita con una velocità inversamente proporzionale alla radice quadrata della sua densità. Però per gas di diversa natura, presi ad uguali forze espansive, e ad egual temperatura, la rispettiva velocità di efflusso corrisponderà per ciascuno di essi a quella che avrebbe acquistata cadendo per una colonna dello stesso gas, supposta di uniforme densità ed alta quanto occorre per determinare col proprio peso ed alla sua base una pressione eguale alla sua forza espansiva. E poichè codeste velocità saranno proporzionali alle radici quadrate delle altezze delle rispettive colonne, le quali altezze sono inversamente proporzionali alle rispettive loro densità, così tali velocità saranno inversamente proporzionali alle radici quadrate di quest'ultime densità. E ciò in piena conformità a quanto si disse su la varia velocità molecolare dei gas (§ 122).

Diffusività dei liquidi.

§ 285. Il fenomeno della diffusione reciproca si verifica anche coi liquidi. Imperocchè *due liquidi di diversa natura che non abbiano*

tra loro affinità chimica, e che però agitati fra loro meccanicamente possan dare una uniforme mischianza, ove si trovino a reciproco contatto in qualche parte della loro superficie, tendono a diffondersi scambievolmente l'uno nell'altro, sino a formare, dopo un certo tempo, una miscela omogenea, non ostante che il liquido di minor peso specifico si trovi dappprincipio sornuotante al liquido più denso, ossia non ostante che la gravità tenda ad opporsi a quei moti che si devon verificare tra le loro parti per produrre la detta mescolanza.

E qui si desumono i poteri di diffusione dei diversi liquidi dalle quantità in peso di ciascun d'essi che si diffondono in un dato tempo entro un altro liquido, essendo del resto pari in circostanze. *In ciascuna soluzione salina il potere di diffusione cresce proporzionalmente alla quantità del sale sciolto entro data quantità d'acqua; e cresce ancora notevolmente coll'aumentar della temperatura. D'ordinario nei composti isomorfi si mostra eguale la diffusibilità; ed in genere ne' diversi liquidi, come nel gas, le diffusibilità son legate tra loro da rapporti numerici molto semplici. Sono interessanti le osservazioni di Graham (1850) su quest'argomento.*

Ecco una facile e chiara prova di questa diffusività dei liquidi. In una pozzetta cilindrica, alcun po' alta, quasi piena d'acqua, tenuta in un ambiente a temperatura piuttosto costante e protetta da ogni agitazione per esterno movimento, si introduca con tutta cura una ampollina a collo stretto già empita con una soluzione di bicromato potassico, cosicchè l'apertura di questa riesca di molto inferiore al peso dell'acqua; la soluzione colorata andrà effluendo mano mano in onta alla gravità, sino a raggiungere in ogni parte una uniforme disseminazione.

Questa diffusione è effetto immediato e ad un tempo è prova dello stato di movimento, nel quale si trovano le molecole della sostanza disciolta innanzi che incominciasse la diffusione.

Codesta deduzione si mostra innegabile, segnatamente nel caso in cui la sostanza diffondentesi deve muoversi in seno ad una sostanza gelatinosa, siccome avviene in un'altra bella esperienza eseguita da Graham e da me ripetuta.

Una soluzione di bicromato potassico, d'un vivo colore giallo-ranciato, preparato a caldo coll'aggiunta di gelatina animale per un ventesimo del suo peso, è introdotta nel fondo di alta pozzetta cilindrica di vetro, sì che vi formi uno strato alto appena 3 centimetri, ed è quivi lasciata rapprendersi col raffreddamento. Al di sopra di questa soluzione rappresa, con tutta diligenza s'introduce nella pozzetta stessa, sino a raggiungervi l'altezza di ben un decimetro, un alto strato di acqua pura, gelatinizzata come la precedente e già

raffreddata al punto che poco dopo, per ulteriore raffreddamento, abbia a rappigliarsi.

S'avrà così nella stessa pozzetta una massa, le cui parti non hanno più la mobilità caratteristica dello stato liquido, e chiaramente distinta in due porzioni, l'inferiore colorata fortemente (ov'è il sale), e la superiore bianchiccia, scorgendosi ben definita la superficie di separazione tra le due parti. Chiusa poi la pozzetta con un tappo di vetro o di gomma che s'adatti alla superiore sua apertura, e lasciatala per alcun tempo in luogo tranquillo ed a temperatura pressochè costante e piuttosto bassa (per esempio fra 10° e 12°), la si andrà osservando di giorno in giorno. Così si rivelerà in modo chiarissimo il graduale salire del bicromato potassico entro la sovrastante acqua gelatinizzata, ed in pari tempo il farsi mano mano più colorati gli strati superiori della stessa, nel mentre va degradando la primitiva tinta della massa inferiore che dianzi conteneva codesto sale.

È questo fenomeno procede con tale regolarità e prestezza che, dopo dieci giorni, apparirà alla sommità della massa superiore una leggier tinta del sale, levatosi quindi ad un decimetro d'altezza, e dopo altri dieci giorni la tinta andrà via via crescendo negli strati superiori, a scapito di quella degli inferiori, sino a rendersi uniforme in ogni parte della totale altezza della massa.

Ed è notevole che, disponendosi a lato di quella altra egual pozzetta contenente sola acqua, sul fondo della quale siasi introdotta, con una sottil pipetta, una soluzione simile di bicromato potassico senza alcuna aggiunta di gelatina, nè alla soluzione, nè all'acqua, epperò entrambe in istato di perfetta fluidità, il graduato salire e diffondersi del sale entro l'acqua sovrastante si verificherà in un modo ben somigliante e con una prontezza di non molto maggiore a quella con cui il fenomeno compiesi nell'acqua gelatinizzata.

Un analogo esperimento può eseguirsi sostituendo al bicromato potassico il solfato di rame di colore azzurro; e può vedersi che il fenomeno procede con esso in simil modo, ma con maggiore lentezza: cioè la diffusività del solfato cuprico nell'acqua gelatinizzata mostrasi minore che pel bicromato potassico, ma in pari proporzione che verificali per esso nell'acqua liquida e pura; il quale però ha minor diffusività di quello.

Or dunque, nell'uno e nell'altro caso, e massime nel primo, il diffondersi del sale nella sovrastante massa non può non ascriversi ad un movimento suo proprio che ben potrebbe dirsi spontaneo. E certo converrà ammettere che una massa liquida, pur quando la diciamo in equilibrio, non lasci d'avere le sue parti in istato di incessante moto intestino.

Confrontando la diffusività delle varie sostanze in un medesimo tempo, Graham trovò che si può fare una spiccata distinzione tra esse, in quanto alcune sono molto diffusive ed altre offrono una diffusione scarsa molto.

I solidi che danno maggiori diffusività sono quelli a struttura cristallina, laddove se hanno struttura compatta ed amorfa come le gomme, le resine, la colla, ecc., hanno una debolissima diffusività. Perciò Graham venne condotto a classificare per questo riguardo i corpi diffusivi in *cristalloidi* e *colloidi*.

I cloruri hanno una diffusività più grande di quella che non abbiano i solfati ed i nitrati. Non poco differiscono anche le diffusività degli acidi: il nitrico è 4 volte più diffusivo del fosforico; però sonvi dei gruppi di egual diffusione; il nitrico col cloridrico, l'acetico col solforico. L'acido cloridrico, come gli idracidi analoghi e gli acidi monobasici, sono le sostanze più diffusive. I sottosali solubili ed i sali ammonio-metallici hanno debole diffusibilità.

Ecco alcuni esempi tolti dalle molte esperienze di Graham. Le varie soluzioni contenevano 10 parti in peso di sostanza su 100 di acqua. Dopo vari giorni si asportavano con una pipetta i diversi strati della miscela, per analizzarli separatamente, determinando la quantità del sale disciolto pervenuto sino ad essi. Qui s'espongono dapprima i risultati avuti col cloruro di sodio, dopo 4, dopo 7 e dopo 14 giorni, dai quali rilevasi il successivo propagarsi della sostanza diffondentesi. E per mostrare poi la varia diffusività delle diverse sostanze si espongono di confronto le risultanze dopo 14 giorni del cloruro sodico e del solfato magnesico (due cristalloidi), e poscia della gomma e delle caramelle (due colloidi).

Diffusione di alcune soluzioni entro l'acqua pura a 10°.

Strati	Cloruro di sodio			Solfato magnes.	Gomma	Caramelle
	4 gior.	7 gior.	14 gior.	14 gior.	14 gior.	14 gior.
1° e 2°	0,008	0,030	0,233	0,018	0,006	...
3° e 4°	0,016	0,079	0,360	0,045	0,007	...
5° e 6°	0,063	0,215	0,607	0,134	0,007	...
7° e 8°	0,225	0,529	0,964	0,351	0,037	0,015
9° e 10°	0,697	1,100	1,420	0,830	0,312	0,056
11° e 12°	1,737	1,907	1,872	1,752	1,141	0,290
13° e 14°	3,231	2,844	2,277	3,186	2,888	2,430
15° e 16°	4,023	3,294	2,266	3,684	5,601	7,206
	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000

Il Graham pure ha provato che la diffusione di un dato sale nell'alcole è più lenta che nell'acqua: però le differenze di diffusività sono analoghe a quelle osservate per l'acqua. La resina si diffonde nell'alcole molto meno prontamente che il jodio.

Quanto poi all'influenza della temperatura è rimarchevole che sebbene per tutte le sostanze essa faccia aumentare la diffusività, l'aumento è però proporzionalmente minore nelle più diffusive; cosicchè col crescere della temperatura tendono a diminuire le differenze di diffusività tra i varii liquidi.

Pur interessanti sono questi altri due fatti notati da Graham. Il primo si è che, ponendo a conflitto le diffusività d'una miscela di cloruro potassico e di solfato sodico con altra di solfato potassico e di cloruro sodico, fatte in quantità proporzionali ai rispettivi equivalenti, si rileva che in tempi eguali risultano eguali dalle due bande le diffusioni d'uno stesso elemento, sia poi esso elettro-positivo od elettro-negativo. Questo fatto s'accorderebbe colle idee di Berthollet, che suppone essere gli acidi e le basi in combinazione indifferenti nelle miscele, cosicchè allo stato di dissoluzione, una miscela, ad esempio, di cloruro sodico e solfato potassico sarebbe la stessa cosa come una miscela di cloruro potassico e solfato sodico.

Il secondo fatto osservato da Graham è questo. Lorchè nel fondo di una pozzetta si trova una miscela di due soluzioni aventi differenti diffusività; questa differenza appar aumentata. Così il cloruro potassico ed il cloruro sodico, i quali separatamente hanno diffusività che stanno come 1,0 e 0,84, quando sono commisti si diffondono secondo il rapporto di 1,0 a 0,35. E questa differenza si fa più rilevante se nella miscela la sostanza più diffusiva si trova in maggior quantità dell'altra, per modo che una miscela fatta con tre parti di cloruro potassico ed una di cloruro sodico diede un rapporto di diffusività corrispondente a quello di 1,00 a 0,05.

Tale proprietà può servire all'analisi dei corpi solubili, per separarli, come colla distillazione separansi i corpi diversamente evaporabili. I cloruri si separano per diffusione dai carbonati e dai fosfati, i sali di potassa da quelli di soda, il cloruro di sodio dell'acqua marina abbandona i sali di magnesia. La diffusività delle sostanze sciolte può anco produrre chimiche scomposizioni: così il solfato di potassa si disgiunge da quello di allumina, cioè decomponesi l'allume.

Qualora poi due liquidi di diversa diffusività (una sostanza cristalloide ed altra colloidica) si trovino mescolati in uno stesso recipiente, si avrà una parziale separazione de' medesimi introducendo la miscela in un vaso, il cui fondo sia formato da una membrana animale o meglio dalla così detta cartapeccora artificiale, e che sia

sommersa per alcuni millimetri in acqua contenuta, in un vaso assai più ampio; nel qual modo la diffusività riesce favorita dalla gravità stessa. È questo il processo che da Graham venne chiamato *dialisi*.

Sul dializzatore quanto minore è l'altezza dello strato, più completamente s'opera la diffusione in un dato tempo. Quando vuolsi ottenere una grande diffusione in 24 ore, conviene che il diaframma presenti un'estesa superficie, e porti il liquido ad un'altezza non maggiore di 10 a 12 millimetri.

Permeazione de' liquidi ne' solidi.

§ 286. Dicesi *imbibizione* il fatto per cui, ponendo un solido a contatto con un liquido atto a bagnarne la superficie, vien questo penetrando mano mano nei suoi pori più interni per azione capillare anche indipendentemente dall'azione della gravità e dell'affinità chimica, e ne espelle parte dei gas che prima vi si annidavano. Matteucci e Cima fecero una serie di osservazioni su l'imbibizione, dalle quali apparirebbe aver influenza in molti casi qualch'altra azione oltre la capillarità, dacchè l'aumentar della temperatura favorisce anzichè menomare l'imbibizione. E secondo Horsford e Niklés tutti i metalli che sono bagnabili dal mercurio, ossia amalgamabili, lo lasciano facilmente permeare nel loro interno, imbevendosene.

Anche il permeare d'un liquido entro un solido poroso per imbibizione, ha attinenza colla diffusione propria de' liquidi stessi e colla loro evaporazione, ossia coi moti che son propri delle molecole liquide in relazione alla loro temperatura.

Il fenomeno della imbibizione della sabbia silicea, per comune giudizio tanto semplice, offre tali difficoltà di osservazione e tal complicazione di condizioni, che facilmente si può essere tratti ad erronee deduzioni.

Matteucci e Cima furono i primi a scrivere intorno a questo fenomeno, paragonandolo con quello della capillarità.

Da alcune loro prove argomentarono che nei tubi di sabbia i diversi liquidi raggiungano in poche ore un limite d'imbibizione correlativo al limite d'innalzamento dei liquidi stessi nei canali capillari formantisi dai vani esistenti tra i granelli di sabbia. Ma questa deduzione era contraddetta dall'altra osservazione da essi fatta, e ripetuta poi dal Magrini, che l'imbibizione per un dato liquido, cresce coll'aumentare della temperatura, mentre accade l'opposto per l'elevazione capillare. Perciò, ritentando queste prove, procurai che le condizioni di esse fossero o costanti o tra loro paragonabili.

La fina sabbia silicea, lavata per bene coll'acido cloridrico e poi coll'acqua distillata, indi essiccata, fu spartita a misura della dimensione dei granelli, per modo che in ciascuna porzione fosservi grani di grossezze ben poco differenti tra loro, facendola successivamente passare per diversi cribri a rete metallica, le cui maglie erano grado grado più fine. Così si distinsero sabbie di 6 grossezze, decrescenti da mill. 1,40 a mill. 0,12. I tubi di vetro aver devono eguale altezza, d'un diametro compreso fra 10 e 15 mill., e devonsi riempire in simil modo colla sabbia; cosicchè riesca eguale la densità media per le sabbie d'una stessa grossezza che occupano un'egual altezza nei tubi.

Colla sabbia più fina, di sesta grossezza, vennero eseguite le prime osservazioni, ponendo a confronto l'acqua e diverse soluzioni saline, aventi tutte la densità di 1,05. In queste prove mai non si verificò un limite nella salita, talchè, ancor dopo 6 mesi, in uno de' tubi il liquido andava alzandosi di oltre mezzo mill. al giorno. La soluzione di cloruro sodico si tenne sempre di poco meno alta dell'acqua; meno si elevò la soluzione di solfato di magnesia e meno ancora quella di solfato cuprico e di carbonato sodico; cosicchè le soluzioni saline parvero elevarsi tanto più, quanto è maggiore la loro diffusività relativa, desumendola dai dati di Graham.

Il confronto tra le elevazioni raggiunte dall'acqua e dalla soluzione di solfato cuprico entro tubi preparati colla stessa sabbia in gennajo ed in giugno valse a mostrare che in un dato numero di giorni, molto minore riesce l'elevazione d'un dato liquido nella calda stagione che nella fredda.

Ecco un epilogo dei risultati avuti colla sabbia più fina (n. 6), ponendo a confronto l'acqua con alcune soluzioni saline. Si espongono le altezze raggiunte dai vari liquidi in capo ad un diverso numero di giorni, operando nel mese di gennajo.

	Altezza in millimetri.						
Giorni	1	5	10	15	20	25	30
Acqua distillata . .	335	375	400	416	427	439	449
Cloruro di sodio . .	333	374	399	415	427	437	447
Solfato di magnesia .	323	358	378	393	403	401	419
Solfato di rame . .	298	333	355	372	385	395	404
Carbonato di soda .	294	328	350	377	381	391	399

Sperimentando poi colle sabbie più grosse, quelle delle grossezze N. 1, 2 e 3, e sempre coll'acqua a costante temperatura, si rilevò distintamente che il liquido s'alza dapprincipio con estrema rapidità, ma offre di poi un così repentino rallentamento, da sembrare che si fermi ad un punto; ed è ciò che diremo *punto di sosta*. Tuttavia il

liquido si eleva ancor dopo, e continua ad alzarsi, ma con una legge di velocità diminuita d'assai, rispetto alla precedente.

Valgano ad esempio le seguenti prove:

Sabbia N.° 1		Sabbia N.° 2		Sabbia N.° 3	
Tempo	Altezza	Tempo	Altezza	Tempo	Altezza
6"	10 mm.	7"	20 mm.	5"	20 mm.
9"	20	11"	30	10"	30
30"	25	29"	36	30"	44
8'.—	27*	1'.30"	39*	5'.—	47,5*
12'.—	28	11'.15"	39,5	18'.30"	48
21'.—	30	43'.—	40	27'.—	49
2 ^b .48'	40,5	1 ^b .28'	43	45'.—	50,5
19 ^b .35'	51.8	22 ^b .15'	59	20 ^b .31'	68,5

NB. Colla lettera *h* si indicano le ore, e col segno * il punto di rallentamento.

In questi fatti d'imbibizione si devono dunque distinguere due *stadij*. Nel primo stadio la sabbia si bagna completamente, riempiendosi di liquido i vani che sono tra i granelli di sabbia, e quindi il liquido si eleva e si tiene elevato non solo per adesione col solido, ma ancora per la propria coesione, cioè per capillarità. Nel secondo stadio, la sabbia si mostra solo superficialmente bagnata, rimanendo fra i granelli dei piccoli vani non empiti dal liquido, il quale dunque vien sorretto da sola adesione.

Ora, prendendo a considerare ne' singoli casi l'altezza raggiunta dal liquido nel primo stadio, cioè innanzi al punto di sosta, la si riconosce per ogni riguardo correlativa all'azione capillare: sia per rispetto alla media dimensione dei granelli e quindi alla media ampiezza dei vani che stanno tra loro; sia per rispetto all'altezza limite per una data sabbia ed un dato liquido, e sia infine per rispetto all'influenza della varia natura e densità de' differenti liquidi sul limite d'elevazione entro una stessa sabbia ad egual temperatura: in tutto come accade coi cannelli capillari. Diremo perciò *stadio di coesione* il primo, *stadio di adesione* l'altro.

Paragonando poi l'elevazione, entro sabbie di data grossezza, d'uno stesso liquido (sia l'acqua, sia una soluzione salina), preso a temperature notevolmente diverse, si rileva un fatto assai rimarchevole e che però conferma la predetta distinzione dei due stadii. Finchè il liquido s'alza rapidamente, nel primo stadio, la velocità è maggiore quant'è più caldo il liquido: laddove, dopo il punto di sosta, il decremento nella velocità essendo maggiore nel liquido più caldo, accade che, in breve, il liquido più freddo si trovi elevato al

pari dell'altro e prosegue poi ad elevarsi più rapidamente. Cosicchè, quando il liquido sia nel secondo stadio (ed il limite di coesione si verifica a minor altezza quant'è più caldo il liquido), ben si può dire che l'aumentare della temperatura è condizione sfavorevole al salire del liquido; mentre nel primo stadio regge una conclusione precisamente opposta.

Con sabbie di egual grossezza, i diversi liquidi, ad una stessa temperatura, raggiungono nel primo stadio altezze che sono direttamente proporzionali a quelle che raggiungerebbero entro eguali cannelli capillari.

Così si verificò per l'olio d'ulive, l'alcole e l'etere. Per quest'ultimi due liquidi è però meno sensibile il punto di sosta; ma lo si può desumere osservando, attraverso il tubo, l'aspetto della sabbia, dove cessa la completa imbibizione di essa e comincia l'umettamento puramente superficiale; ivi risponde ciò che diciamo il punto di sosta od il limite di capillarità.

Merita pure riflesso che, osservando di confronto la salita dell'acqua e dell'alcole nelle sabbie delle prime grossezze, si scorge un'altra singolare inversione tra i due stadii. Mentre nel primo stadio, l'acqua, assai più efficacemente sussidiata dalla coesione, si eleva più rapidamente che l'alcole; nel secondo stadio, l'alcole che subisce un minor rallentamento nella velocità d'ascesa passando dall'uno stadio all'altro, in breve raggiunge l'acqua, e di poi la precede, e tanto più, quanto più si protrae il confronto. Epperò ancor qui osservando i due liquidi quando sono entrati nel secondo stadio, direbbesi che l'alcole s'alza più rapido dell'acqua; mentre nel primo stadio accade l'opposto.

L'etere nel primo stadio s'alza più veloce dell'alcole; nel secondo invece questo risulta più elevato. Altrettanto accade mettendo a paragone la glicerina coll'olio d'ulive: quella antecede notevolmente l'olio nel primo, e rimane poi d'assai in ritardo nel secondo stadio.

Già questi fatti tendono a mostrare che, anco nel secondo stadio, oltre l'elevarsi continuo del liquido, deve verificarsi in ogni parte del solido bagnato un continuo scambio di molecole liquide dal basso all'insù. Il qual principio è reso meglio evidente nel caso dei liquidi molto vaporabili, massime coll'etere e coll'alcole, i quali quando sieno entrati nel secondo stadio entro sabbie piuttosto grosse e poco alte nel tubo, presentano un apparente limite di elevazione a cagione del molto liquido che può aver sfogo sotto forma di vapore per l'alto del tubo, e che pur dev'essere di continuo surrogato da altro liquido proveniente dal fondo del tubo, ove pesca nella soluzione.

Anco una soluzione satura di cloruro sodico, sebbene poco vaporabile, manifestò questa surrogazione continua di parti nella sabbia

semplicemente umettata del secondo stadio, poichè, dopo un certo numero di giorni, si rinvenne in essa depositata una quantità di sale notevolmente maggiore di quella che vi poteva essere, rispetto alla quantità del liquido umettante, se questo fosse stato semplicemente saturo; laddove nella sabbia inferiore, quella completamente imbevuta, il liquido si mantenne sempre in condizione di pura saturazione. Con una siffatta soluzione si confermò ancor meglio che il primo stadio è veramente rispondente all'azione capillare, poichè in confronto coll'acqua pura nella sabbia grossa, s'ebbe pel punto di sosta un'altezza un poco minore per la soluzione salina che per l'acqua.

Coi liquidi viscosi e poco diffusivi, come l'olio d'olive e la glicerina, si nota una differenza ancor più rilevante tra la velocità d'ascesa nel primo stadio e quella del secondo: quest'ultima si rende in breve tanto piccola, che ad un primo aspetto potrebbesi credere darsi un limite alla salita. Ma in fatto, la salita mostrasi continua anche pel decorso d'alcuni mesi.

Dai confronti fatti poi con listerelle di carta bibula da filtro, chiuse entro pozzette, nel fondo di ognuna delle quali stava uno strato di liquido che per esse si alzava imbevendolo, e chiuse superiormente sicchè l'interno spazio potesse saturarsi e tenersi saturo di vapor del liquido stesso, si verifica che il salire dei liquidi nei solidi porosi, come nella carta, nel cartone, è in tutto paragonabile col loro salire nei tubi di sabbia. Così in una listerella di sottile carta bibula il salire dell'olio d'olive si mostrava sensibile ancor dopo sette mesi.

Epperò dall'insieme di questi fatti sembra potersi inferire: che *la diffusività propria del liquido sia la condizione determinante del fenomeno dell'imbibizione de' solidi porosi*, e che però, sino al limite di capillarità, il liquido primamente salito, traendosi seco, per coesione, altro liquido, la velocità d'ascesa è d'assai favorita; laddove al di là di quel limite l'ascesa stessa è sussidiata soltanto dall'adesione.

Osmosi fra i liquidi.

§ 287. È indicato comunemente col nome di *endosmosi* il fenomeno che presentano *due liquidi eterogenei e miscibili tra loro, i quali essendo separati da un tramezzo sottile, minutamente poroso e da essi bagnabile, fanno reciproca irruzione l'uno nell'altro, ma con diversa intensità, sì da far crescere il volume del liquido da una banda del tramezzo, e scemare dall'altra*, ancorchè da principio fossero equilibrate le pressioni idrostatiche su le due facce del tramezzo medesimo. Quando poi dalle due parti siasi formata un'uni-

forme miscela agisce soltanto la gravità e riesce di nuovo soddisfatta la legge idrostatica.

Questo fatto, avvertito prima da Nollet e da Parrot, fu specialmente studiato da Dutrochet (1826), il quale disse impropriamente far *endosmosi* il liquido più irruente ed *esosmosi* quello meno irruente (da *ωσμος*, impulso; *ενδον*, entro; *εξ*, fuori), perchè nelle sue prime esperienze la corrente forte era diretta all'indentro di un sacco membranoso contenente il liquido che dava la corrente debole.

Diconsi *endosmometri* que' diversi apparecchi che servono a paragonare i poteri d'irruzione dei differenti liquidi secondo le circostanze. Molto opportuno riesce l'endosmometro di Matteucci, col quale può ottenersi, che al principio dell'esperienza, risultino eguali le pressioni dei due liquidi sulle facce del tramezzo.

Le condizioni necessarie alla produzione di questi fenomeni sembrano due: che almeno uno dei liquidi sia atto a permeare nel tramezzo poroso, e che i due liquidi siano diffusibili l'uno nell'altro. Però quanto maggiore sarà la differenza nell'azion capillare dei due liquidi entro i pori del solido e la differenza nella rapidità della loro diffusione, tanto più distinto sarà il fenomeno della variazione nel livello dei due liquidi, contrariamente alle leggi idrostatiche. Vuolsi pur tener conto dell'azione capillare dell' un liquido sull'altro e della loro diversa viscosità.

In generale coll'aumentare della temperatura cresce nei liquidi il potere d'irruzione.

Ma ben soventi intervengono a modificare o complicare i risultati, l'azione chimica o dissolvente di ciascun liquido su la sostanza del tramezzo, l'azione chimica dei due liquidi tra loro e l'azione di trasporto delle correnti elettriche provocate da dette azioni chimiche.

Secondo Dutrochet, colle membrane animali, l'acqua pura fa prevalente irruzione verso la soluzione d'albumina, di zucchero, di gomma e di gelatina, e verso la soluzione dei diversi sali; e per ciascuna soluzione l'endosmosi dell'acqua riesce tanto più pronta e più distinta quanto è maggiore la proporzione del corpo disciolto rispetto al solvente.

Secondo Magnus, le soluzioni saline più solubili sono quelle che meglio favoriscono l'irruzione in esse dell'acqua pura.

Le soluzioni poco dense degli acidi ed a bassa temperatura, secondo Dutrochet, fanno prevalente irruzione verso l'acqua, laddove oltrepassando una data temperatura ed una data densità — variabili nei diversi acidi — è l'acqua che fa endosmosi verso di esse; gli acidi molto densi ricevono irruzione prevalente non solo dall'acqua, ma anco dalle soluzioni saline. È rimarchevole che l'acido solfidrico, a qualunque densità ed anche unito ad altra soluzione, dà sempre endosmosi verso l'acqua.

Con una vescica animale l'alcole riceve dall'acqua più che non dia: laddove col taffetà gommato l'alcole dà una più energica corrente verso l'acqua, che non questo verso quello. Colle membrane animali gli oli volatili fanno prevalente irruzione verso gli oli fissi, mentre l'alcole fa endosmosi verso gli uni come verso gli altri. L'argilla cotta, sì grossolana che fina, serve abbastanza bene all'endosmosi; e invece le lamine sottili di grès siliceo, di carbonato calcareo o di porcellana imperfettamente cotta, benchè porose si da lasciar filtrar l'acqua, non producono endosmosi. Le pellicole vegetali si prestano benissimo alla produzione di questo fenomeno.

Matteucci e Cima (1846) fecero molte serie di osservazioni su la endosmosi prodotta dalle membrane animali. Trovarono avere una grande influenza, sì nella direzione che nell'intensità delle irruzioni più forti, la natura delle diverse membrane, e per ciascuna di queste aversi una ben diversa intensità d'endosmosi fra due dati liquidi secondo la disposizione delle sue due faccie piuttosto verso l'uno che verso l'altro liquido, e ciò fintanto che le membrane sono fresche, cioè appena tolte dagli animali, e non disseccate od alterate dalla putrefazione, nei quali ultimi casi, o riesce indifferente la disposizione delle faccie, o non si ha più endosmosi. Ad esempio nelle pelli di diversi animali l'acqua passa più facilmente dalla faccia interna verso l'esterna; varia però nelle diverse pelli l'intensità relativa di endosmosi dei differenti liquidi. Le membrane mucose dello stomaco e della vescica urinaria dei varii animali presentano differenze ancor maggiori e per la direzione più favorevole all'endosmosi dell'acqua e per la intensità relativa delle irruzioni coi diversi liquidi. Le differenze osservate dipendentemente dalla disposizione delle membrane non provengono da differenze nella corrente più forte, la quale si mantiene costante, ma bensì da differenze nella esosmosi, ossia nella controcorrente più debole.

Il dott. Bacchetti osservò che la rapidità dell'endosmosi è notevolmente aumentata tra due dati liquidi, quand'uno di essi vien di continuo rinnovato, ossia quand'è in istato di moto.

Porret, separando con una vescica l'acqua contenuta in un truogolo, ed immergendo da ciascuna parte un elettrodo, osservò l'acqua sollevarsi nel truogolo negativo, venendo trasportata dall'elettrodo positivo verso il negativo attraverso la membrana. Napier osservò di poi che se il liquido contiene un sale od un acido suscettibile di decomposizione, la corrente osmotica è specialmente rivolta al trasporto del sale e dell'acido, talchè l'aumento di volume del liquido intorno all'elettrodo negativo è debolissimo o nullo: se però la corrente elettrica è energica più che abbisogna pel trasporto del sale e dell'acido, vien trasportata anche una certa quantità d'acqua nella

cella negativa. Quindi l'endosmosi elettrica è più notevole quando l'acqua sia pura o non accada una sensibile decomposizione. Certo è che nel fenomeno dell'osmosi intervenendo l'affinità, deve pur intervenire l'elettricità, la quale sempre accompagna le chimiche azioni. L'elettricità poi modifica l'adesione e la capillarità nei liquidi.

Draper osservò che una goccia d'acqua, posta sul mercurio, si spiana su di questo, ove si immerga in essa l'elettrodo positivo (un filo di platino), e nel mercurio l'elettrodo negativo. Vidde poi che in un sifone coi rami di differente diametro versando un po' d'acqua nel braccio più angusto sopra il mercurio che in esso sta più depresso che nell'altro, ed immergendo in quella l'elettrodo positivo, mentre il negativo tuffasi nel mercurio del braccio più largo, il mercurio sale nel tubo capillare, e cade di nuovo sospendendo la corrente.

Ecco un facil modo per mettere in evidenza che la diffusione e l'osmosi, sebbene s'accompagnino il più delle volte, spesso operano in verso opposto. Un uovo di gallina, al quale siasi tolta qualche parte del guscio calcareo, senza forare la pellicola, è sommerso nell'acqua pura. In breve si trova che nell'acqua esterna si diffusero tutti i sali cristalloidi dell'uovo; laddove l'acqua esterna sarà penetrata entro di esso, gonfiando notevolmente la pellicola.

Qui la diffusione dei sali è in verso opposto a quello della osmosi dell'acqua verso un liquido colloidale per eccellenza, qual è l'albumina: ed in pari tempo si ha un chiaro esempio di quel fenomeno che Graham chiamò *dialisi*. Poichè, in tal modo, i corpi salini e solubili vengono separati dai corpi organici non solubili per mezzo della varia loro diffusività. Un opportuno *dializzatore* vien formato da un tramezzo di carta preparata coll'acido nitrico, la quale chiamasi *cartapeccora*; e può giovare per importanti analisi di tossicologia.

I seguenti esempi, tolti dalle sperienze di Graham, metteranno meglio in chiaro il differente procedere della diffusione e della osmosi coi diversi liquidi e coi differenti tramezzi colloidali: come sono la cartapeccora e la tela di cotone imbevuta di albumina, coagulata poi col calore.

Soluzioni a 10 per cento, da 10^o a 15^o, in un giorno.

	Colla cartapeccora		Col tramez. d'album.	
	Dialisi	Endosm.	Dialisi	Endosm.
Cloruro sodico	gr. 7,50	gr. 19,0	gr. 5,05	gr.—0,2
Alcole	» 3,57	» 17,6	» 2,90	» +7,2
Glicerina	» 3,30	» 17,6	» 2,55	» 7,5
Mannite	» 2 62	» 16,6	» 1,90	» 5,0
Glucosa	» 2,07	» 16,9	» 1,79	» 7,3
Zuccaro di canna . . .	» 1,61	» 15,3	» 1,75	» 4,6
» di latte	» 1,39	» 15,0	» 1,33	» 7,1
Gomma arabica	» 0,03	» 5,0	» 0,02	» 29,0

La influenza del tramezzo poroso in questi fatti si fa manifesta anche per ciò, che l'osmosi dei vari liquidi ha relazione colla varia facoltà di imbibizione e di permeazione di questi in quello. Per es., in 24 ore una vescica di bue dianzi seccata assorbì volumi 2,68 di acqua pura; 1,33 di soluzione satura di cloruro sodico; 0,38 di alcole leggermente diluito, e 0,17 di olio d'ossa, preso per unità il volume della membrana stessa in istato secco.

§ 288. Molte ed importanti sono le applicazioni che si ponno fare di questo fenomeno fisico-chimico a rischiarare alcuni fatti fisiologici dei vegetali e degli animali.

È evidente l'influenza dell'osmosi su le funzioni di assorbimento e circolazione nei vegetabili. Hales avendo troncato un gambo di vite presso al suolo in istagione di primavera, ed applicatovi, mediante legatura con vescica ripiegata, un tubo a sifone contenente mercurio ad egual livello nei due rami, lo trovò di poi elevato dalla banda opposta di 38 pollici (m 0,965), grazie all'impulsione del succhio che tendeva a sgorgare dal taglio.

Dutrochet ripeté questa esperienza, estendendola sino alle minori radici, ed ebbe un analogo risultato. Perciò il succhio elevasi nel tronco per una forza differente dalla capillarità, la quale non ha efficacia a spingere i liquidi fuori dai canali capillari. D'altroude estraendo da un tronco il succhio a differenti altezze, lo si trova sempre più denso in alto, ossia meno acquoso.

Il dott. Boucherie, praticando nella parte inferiore del tronco degli alberi da costruzione o d'opera una cavità comunicante colla soluzione che voleva far assorbire, ottenne di introdurre nell'interno dei legni parecchi sali; alcuni dei quali danno loro diversi colori, altri aumentano la loro pieghevolezza e tenacità, altri li rendono meno facilmente combustibili o corruttibili dall'umidità e dal tarlo. È necessario per tali esperienze lasciare all'albero gran parte delle frondi. Un pioppo di 28 metri d'altezza e 40 cent. di diametro in sei giorni fu interamente penetrato, assorbendo 500 litri di soluzione.

Le prove fatte su le variazioni nel peso delle persone, dietro le bagnature, mostrano chiara una doppia corrente osmatica. Infatti si è trovato che: 1.^o quando la temperatura dell'acqua sia di qualche grado inferiore alla normale temperatura del sangue, si equilibrano l'esalazione cutanea e l'assorbimento dell'acqua, sicché la persona serba invariato il proprio peso; 2.^o quanto più la temperatura dell'acqua aumenta, si fa prevalente l'esalazione sull'assorbimento e v'ha perdita di peso in proporzione della durata del tempo; 3.^o quanto più bassa invece è la temperatura dell'acqua, prevale l'assorbimento di questa sull'esalazione e v'è aumento di peso.

Condensazione dei gas sui solidi.

§ 289. *Un solido poroso, stando in contatto con un gas, vien da questo penetrato anco nelle sue parti più interne, benchè non siavi tra essi affinità chimica.* La gravitazione che si esercita tra le molecole del solido e quelle del gas penetrate nei suoi pori, fa perdere a quest'ultime una parte della loro velocità termica, e quindi della loro espansività, sì che per una parte il solido si scalda e per l'altra il gas interno, raffreddato che sia il solido, deve assumere una densità maggiore per equilibrare la forza espansiva del gas esterno. Sembra anzi che in molti casi il gas penetrato si liquefi in parte a contatto de' gruppi molecolari del solido.

Però è facile intendere che la quantità del gas condensantesi in un dato volume del solido aumenterà col crescere della pressione del gas esterno, e scemerà invece coll'aumentare la temperatura. Varia altresì la detta quantità secondo la natura e la struttura del solido, e secondo la natura del gas. Saussure, operando a 12° circa ed alla pressione ordinaria, trovò i seguenti rapporti tra il volume del gas condensato ed il volume del solido, rapporti che si denominano *coefficienti di condensazione* dei singoli gas:

Gas ammoniacò	90	Bicarburo d'idrogeno . . .	35,00
» acido cloridrico	85	Ossido di carbonio	9,42
» » solforoso	65	Ossigeno	9,25
Solfuro d'idrogeno	55	Azoto	7,50
Protossido d'azoto	40	Idrogeno	1,75
Gas acido carbonico	35		

Saussure notò che tutti i gas tengono lo stesso ordine di condensibilità nelle singole varietà di corpi della medesima natura chimica. Così tutti gli asbesti condensarono più gas acido carbonico che ossigeno, e le varie specie di legni secchi più idrogeno che azoto: ma le condensazioni assolute differivano sensibilmente nelle diverse specie degli asbesti e nei diversi legni, forse a cagione della differente loro porosità. Nel carbone in pezzi l'addensamento fu maggiore che nel carbone ridotto in polvere impalpabile e preso a peso eguale, benchè in quest'ultimo stato il volume e quindi la porosità fosse più grande; e analogamente nei carboni più densi, maggiore è la condensazione, almeno sino ad un certo limite. Così, pure a volumi eguali, e ad egual temperatura e pressione, il carbone di sovero condensa una quantità piccolissima d'aria, quello di abete 4,5 volumi, quello di

bosso 7,5, il carbon fossile 10,5; mentre la grafite produce un aumento di densità appena sensibile. Pertanto la condensazione dei gas, almeno sino ad un certo limite, sembra favorita dall'impicciolimento degli spazietti intermolecolari de' corpi. Però il carbone inzuppato d'acqua ha una facoltà condensante circa due volte minore di quando è asciutto.

Introducendo un carbone già impregnato d'un gas entro di un altro gas, questo pure vi penetra, ma ne espelle parte del primo. Che se il primo gas è più condensabile del secondo, maggiore sarà lo sviluppo di quello che l'assorbimento di questo: e succederà il fenomeno inverso, se il primo gas è meno condensabile dell'altro.

Il volume del gas espulso da un solido poroso per mezzo d'un altro gas varia in ragione della proporzione dei due gas che restano liberi esteriormente ad azione compiuta: però l'espulsione cresce secondo che maggiore è l'eccesso del volume del gas che si adopera per cacciarne un altro, ed è probabile che, ponendo il solido a contatto d'un indefinito volume d'altro gas, ne escirebbe per intero quello dianzi condensatovi. Questi fatti ricevono luce da quanto si disse sopra circa la facoltà diffusiva dei gas, ed insieme l'avvalorano.

Non v'è però alcun evidente rapporto tra le densità de' diversi gas e le quantità che d'ognuno di essi sono condensate nel carbone. È notevole essere molto condensabili i gas che si svolgono dai corpi animali in putrefazione o che giovano alla vegetazione: e da qui alcune utili applicazioni del carbone, come corpo disinfettante e fertilizzante.

Anche i metalli ridotti in istato spugnoso od in finissima polvere, epperò presentanti una superficie molto estesa relativamente alla loro massa, valgono ad assorbire gran copia d'alcuni gas (persino duecento volte il loro volume), pur quando non accade combinazione chimica tra gli uni e gli altri. Molto meno attivo è il vetro pesto. Sono pregevoli alcune diligenti osservazioni su quest'argomento di Chiozza, di Magnus, di Jamin e Bertrand e di Sthenouse.

I tessuti organici animali, privati delle materie grasse, ed i tessuti vegetali disseccati assorbono agevolmente il vapor acqueo, onde son detti corpi igroscopici. Secondo le osservazioni di Violette i carboni preparati a differenti temperature assorbono diverse quantità di vapore acqueo; i legni secchi e semplicemente torrefatti ne raccolgono maggior quantità dei carboni propriamente detti; minima è poi la condensazione nei carboni fortemente calcinati; gli stessi carboni ridotti in polvere colla lima o col pestello assorbono da un terzo sino a due volte di più del vapore che condensano essendo in pezzi.

È per una condensazione del vapore acqueo sulla superficie del

vetro, che questo è d'ordinario ricoperto da un velo umido il quale difficilmente si toglie.

§ 290. Anche i liquidi accolgono diverse quantità de' differenti gas e li tengono condensati o disciolti entro i loro pori. Ecco i valori dei coefficienti di condensazione a 0° per alcuni gas, secondo Bunsen (1854): avvertendo che col crescere della temperatura vanno sempre scemando i valori di codesti coefficienti.

	Acqua	Alcole		Acqua	Alcole
Acido solforoso .	79,79	328,62	Protocarb. d'idr.	0,054	0,523
» solfidrico .	4,37	17,69	Ossigeno . . .	0,041	0,284
» carbonico .	1,80	4,83	Ossido di carbon.	0,033	0,204
Protoss. d'azoto.	1,305	4,18	Azoto	0,020	0,126
Bicarbuo d'idr.	0,256	3,59	Idrogeno . . .	0,019	0,069

In primo luogo è notevole che l'alcole accoglie entro di sé una quantità ben maggiore di ciascuno dei dati gas che non faccia l'acqua, sebbene quel liquido sia meno denso di questo; il che accenna codesta condensazione non esser dovuta solo alla reciproca gravitazione di massa dei due corpi.

È pur notevole che i rapporti degli esposti coefficienti di condensazione di ciascun gas entro i due liquidi non differiscono molto tra loro; solo pei due carburi d'idrogeno evvi una proporzione ancor maggiore di condensazione nell'alcole che nell'acqua.

Inoltre quei gas che sono più condensabili nel carbone di bosso, lo sono anco nei detti due liquidi. L'acqua a 0° condensa, secondo Bunsen, 1050 volte il suo volume di gas ammoniacco.

Stefan, determinando in pari tempo la velocità e la quantità in volume di un dato gas condensato in liquidi diversi, trovò che essi non procedono di pari passo. Ad esempio, il gas acido carbonico si condensa nell'alcole con una velocità circa cento volte maggiore che nell'acqua, mentre il volume complessivo del gas condensatosi nell'alcole è appena quattro volte circa maggiore di quello che si condensa nell'acqua.

Da tutto ciò si raccoglie che in questi fatti aver devono influenza i vari rapporti delle masse molecolari e delle rispettive velocità molecolari (§ 122) dei singoli corpi che reagiscono fra loro.

§ 291. Henry avvertì pel primo, e Dalton e Saussure li confermarono, che, *sotto una data temperatura, un liquido accoglie sempre la stessa quantità in volume d'un dato gas, qualunque sia la pressione esterna di questo*. Epperò la quantità in peso del gas assorbito sarà in ogni caso proporzionale alla pressione e quindi alla densità del gas esterno.

Dalton trovò che anco le variazioni nella temperatura non influiscono sul variare le quantità in volume di ciascun gas, che un dato liquido può accogliere: ossia le quantità in peso del gas assorbito nei vari casi sono direttamente proporzionali alle densità che esso presenta sotto le differenti temperature.

Che se il liquido trovasi in contatto con una miscela di diversi gas, ne condensa di ciascuno una quantità in peso eguale a quella che ne condenserebbe, ove fosse in contatto con quel gas da solo, ed ove questo però esercitasse una pressione corrispondente alla frazione della pressione totale che ad esso compete nella miscela. Così, ponendo con Regnault che l'acqua condensi 0,0253 del proprio volume di azoto e 0,046 di ossigeno, e che l'aria consti d'una miscela di 79,1 d'azoto e 20,9 d'ossigeno in volume, l'acqua, stando in contatto coll'aria, dovrebbe tener condensata una miscela di 32 d'ossigeno e 68 d'azoto, pure valutati a volume, il che appunto vien confermato dall'esperienza. Però nell'acqua in cui vivono vegetali ed animali, questa proporzione sarà modificata in opposto verso, poichè i primi tendono a far crescere la proporzione dell'ossigeno, gli altri a farla diminuire.

Ma queste leggi sono applicabili solo ai gas che si condensano dall'acqua in poca quantità, e coi quali essa non forma una combinazione chimica propriamente detta.

Nei liquidi viscosi si verificano le stesse leggi relative alla pressione ed alla temperatura, se non che in essi la condensazione dei gas succede assai più lentamente. La quantità in peso di un gas condensato da una soluzione salina sembra diminuire a misura che cresce la quantità del sale disciolto.

Osmosi gasosa.

§ 292. Due diversi gas, separati essendo da un tramezzo solido, sottile e poroso, presentano un fenomeno analogo a quello della osmosi dei liquidi (§ 234). Però le membrane animali asciutte sono attraversate dai diversi gas con diversa prontezza, appunto secondo il vario potere di diffusione d'ogni gas: laddove, quando esse sono inumidite d'acqua, lascian passare di preferenza i gas più condensabili nell'acqua.

L'endosmosi gasosa può verificarsi anche attraverso una lamina liquida, per esempio, attraverso il velo d'una bolla d'acqua saponata, o la pellicola dei globuli sanguigni. Le osservazioni di Magnus, di Matteucci e d'altri mostrano che la tramutazione del sangue venoso in sangue arterioso è anzitutto un fenomeno fisico-chimico, che riceve molta luce dai suestposti principii.

Ponendo una vescica ben umida e contenente aria, si fa restare flaccida, sotto una campana racchiudente gas acido carbonico, la si vedrà andar mano mano gonfiandosi. Mettendo invece acido carbonico entro la vescica umida ed aria al di fuori, la si vedrà avvizzire, se prima era gonfia.

Analoga a questa, ma più concludente, è la seguente esperienza di Marianini. Si faccia cadere una bolla d'acqua saponata, gonfia d'aria, entro una pozzetta, nel fondo della quale si versò gas acido carbonico: quando la bolla comincia a penetrare in quest'ultimo, rallenta il suo moto discensivo, si rende per poco immobile, gonfiandosi notevolmente, indi riprende il moto discensivo, sinchè viene a toccare il fondo ed a scoppiare.

Da queste esperienze chiaro emerge che l'acido carbonico, sciogliendosi e condensandosi più facilmente che gli elementi dell'aria entro l'acqua (§ 226), attraversa il velo liquido e passa anche dalla banda ove dapprima non si trovava, o dove sta diffuso in minore quantità.

Questi fenomeni offrono facile applicazione ai casi per cui i globuli del sangue arterioso si fanno di color cupo, stando in contatto con un'atmosfera d'acido carbonico, ed anche a quelli nei quali i globuli del sangue venoso acquistano un color rosso vivo in contatto con un'atmosfera di ossigeno.

Gardner osservò che anche le piante si possono riguardare, per rispetto alla loro respirazione, come un sistema poroso, sottomesso alle leggi della diffusione dei gas nei solidi porosi e nei liquidi.

Sono interessanti anche i fenomeni osservati da Sainte-Claire-Deville e da altri sulla diffusione dei gas attraverso i tubi porosi.

Ad esempio abbiassi un tubo d'argilla porosa che attraversi un tubo più capace di porcellana verniciata, e pel primo passi una corrente d'idrogeno, mentre nello spazio anulare fra i due tubi s'avvia una corrente d'acido carbonico. Il primo gas, come assai più diffusivo, passerà in gran parte in questo spazio, producendo una notevole diminuzione di pressione nel gas che trovasi nel tubo interno.

Se poi pel tubo interno passa una miscela di gas, quello che è più diffusivo si separerà in gran parte passando nel detto spazio anulare.

Moti brauniani.

§ 293. Anche i casi più semplici dei *moti* detti *brauniani*, perchè primamente studiati da Brown, confermerebbero lo stato di assiduo moto intestino che è proprio tanto delle molecole dei liquidi quanto delle particelle più minute de' solidi nuotanti in essi.

Le materie coloranti, preparate con carbonato piombico (biacca),

sciolte in piccola quantità nell'acqua, e guardate con forte microscopio, offrono colle loro parti solide più minute un particolar moto oscillatorio o di danza. Così fanno anche i metalli più densi e dotati di minor caloricità a peso, come il platino, il cloro, il piombo, l'argento quando siano ridotti in polveri sottilissime, come ottiensì riducendo i rispettivi ossidi col mezzo dell'idrogeno. Lo stesso fenomeno presentano il bijoduro di mercurio, l'ossido piombico, l'ossido mercurico, il solfuro d'antimonio e il carbonato piombico puro, corpi del pari assai densi e dotati di poca caloricità a peso. È notevole il vedere particelle tanto gravi star lungamente nuotanti nell'acqua, appunto perchè dotate di siffatti moti vibratorî (a).

Codesti moti molecolari ne' liquidi rispondono non solo alla loro temperatura, ma ancora all'esercizio delle interne pressioni di gravità secondo la legge di Torricelli (§ 85). Però i moti brauniani manifesterebbero solo le differenze di ritmo fra la velocità molecolare del liquido e quella del solido.

Azioni chimiche.

§ 294. Ma ancor più larga prova dei moti molecolari correlativi alla temperatura d'ogni corpo la si trae dal fatto suesposto (§ 262) che tutte le combinazioni di due o più corpi eterogenei provocano una data quantità di calore. Poichè codesto calore, manifestantesi nell'atto dell'unione di sistemi molecolari diversi, non può non attribuirsi ad una energia molecolare preesistente ne' corpi componenti. Ed invero se l'essere diversa da uno ad altro corpo la caloricità a peso (§ 155) significa, come noi crediamo colla dottrina termodinamica, che ad una stessa temperatura i corpi di varia natura hanno velocità molecolari termiche differenti (§ 254), accader dovrà che, lorquando due gruppi molecolari eterogenei si raggruppano in un solo, si renderà manifesta parte della loro forza viva termica, in correlazione a siffatte precedenti differenze.

Però abbiamo anche veduto che, in generale, le quantità di calore prodotte nell'atto dell'unione di dati corpi sono tanto maggiori quanto più saldi sono i composti che ne risultano. Laonde in ciò avranno molta influenza non solo le differenze nelle masse molecolari de' componenti, ma ancora le differenze nelle condizioni di coerenza de' gruppi molecolari del composto a paragone di quelle dei componenti stessi (b):

(a) Questo argomento venne da me svolto in una nota pubblicata nei *Rendiconti dell'Istituto Lombardo* nel gennaio 1868.

(b) Qui parlo di gruppi molecolari anzichè di molecole, in quanto io credo che gli atomi dei chimici siano già per sè sistemi di molecole. Io ritengo che

poichè si è visto (§ 196) che la caloricità specifica e quindi la velocità molecolare de' corpi hanno relazione strettissima col vario grado di loro coerenza.

Se davvero, come oggimai si ammette, il calore che vuolsi comunicare ai corpi composti per ridurli ne' loro elementi, rappresenta il lavoro necessario a vincere la resistenza opposta da questi alla loro separazione, convien pur dire che il calore sviluppantesi nel punto della combinazione rappresenti una parte dell'energia molecolare già esistente nei componenti, quella corrispondente alla differenza della forza viva richiesta a mantenere ad una stessa temperatura i gruppi molecolari dei componenti e quelli del composto. Poichè in questo, come in ogni altro atto fisico o meccanico, non può ammettersi che un moto (elemento essenziale d'ogni energia fisica o d'ogni forza viva) si produca dal nulla, cioè da ciò che non implichi un moto preesistente. Laonde le calorie di combinazione, rappresentando appena una parte dell'energia termica dei componenti, mettono in evidenza che, tanto in questi quanto nel composto, le molecole mai non lasciano d'essere animate da moti assai ragguardevoli.

Ed anzi le stesse leggi delle proporzioni definite e delle proporzioni multiple collegandosi, come s'è visto addietro (§ 190), con quelle delle caloricità specifiche, ci traggono a credere, che anco le leggi delle combinazioni chimiche, implicando solo de' rapporti fra le velocità termiche molecolari (equivalenti termici), debbano potersi subordinare, al pari delle altre leggi fisiche, ai principj fondamentali della meccanica, eliminando così dalla scienza quelle mal certe qualità o proprietà che si vollero comprese sotto il nome di *affinità*.

Infine le combinazioni chimiche, richiedendo per effettuarsi dati valori nella temperatura dei componenti, rilevano pure che le energie termiche di questi devono soddisfare a dati rapporti nelle velocità molecolari, affinchè i componenti possano insieme collegarsi in un nuovo sistema molecolare: e ciò per un fatto analogo a quello per cui s'è visto (§ 153) che due suoni, per dare una consonanza od armonia, devono soddisfare a dati rapporti nei rispettivi numeri delle vibrazioni (a). Perciocchè, col mutare della temperatura, varia ne' corpi la caloricità specifica a peso, in quanto varia in essi la coerenza e la dilatabilità (§ 187).

i corpi siano costituiti, analogamente a quanto osserviamo nei sistemi stellari, da varii ordini di aggruppamenti successivi di molecole, ai quali competono i varii ordini di fenomeni fisici e chimici. Epperò io penso che gran parte delle calorie di combinazione riveli la energia propria dei gruppi molecolari d'ordine minore, siccome dissi altrove.

(a) Toccai questo argomento in una nota (*su alcune condizioni fisiche dell'affinità*) del febbrajo 1868, ed in altra *su le calorie di combinazione de' corpi* del luglio 1872. Rendiconti dell'Istituto Lombardo.

CAPO X.

ELETTROLOGIA

§ 295. Or che s'è studiata una delle più importanti manifestazion dell'operosità dei corpi, l'energia termica, per la quale essi mai non lasciano di influenzarsi scambievolmente gli uni su gli altri (a), grazie ad un assiduo ma variabile agitarsi delle loro molecole, gioverà studiare un'altra non meno importante forma di energia fisica dei corpi, quella che risponde ai fenomeni chiamati elettrici e magnetici. Questi due grandi gruppi di fenomeni dapprincipio si studiarono separatamente, attribuendoli a forze diverse, od a diversi fluidi. Ma poi, per molti aspetti, essi andarono tra loro sempre più raccostandosi col progredire degli studii, tanto da potersi ritenere conveniente il trattarne insieme in uno stesso capitolo della scienza.

POLARITA' DEI MAGNETI.

§ 296. Era noto agli antichi Greci che un minerale, da essi detto *μαγνής*, poichè proveniente da un luogo di simil nome, avesse la proprietà di trarre a sè dei minuzzoli di ferro. La composizione di questo minerale corrisponde alla formola Fe^3O^1 , contenendo 0,724 di ferro: però lo si denomina *ossido magnetico di ferro*, onde distinguerlo dagli altri ossidi dello stesso metallo che non manifestano la detta proprietà. Comunemente lo si chiama *calamita*, oppure *magnete naturale*; dicendosi *magneti artificiali* quelle verghe d'acciaio che, dietro alcune operazioni, quali s'indicheranno in seguito, offrono la medesima proprietà. Diconsi poi anco *corpi magnetizzati* quelli che operano come i magneti, e *corpi magnetici* gli altri che da questi sono influenzati, quali sono il ferro, l'acciaio, ed anche, ma in minor grado, il cobalto, il niccolo ed il cromo.

Denominasi *magnetoscopio semplice* uno strumento che facilmente accenni le azioni magnetiche. Consiste in una verghetta d'acciaio magnetizzata, e sostenuta in bilico da un perno verticale, sul quale possa ruotare; oppure consiste in un ago di acciaio magnetizzato

(a) I fenomeni della propagazione del calore in distanza saranno esaminati nel capo seguente, in un con quelli della luce.

sospeso in bilico da un sottil filo avente una ben debole elasticità alla torsione. Quest'ultimo è assai più sensibile del primo per isvelare le meno valide azioni magnetiche.

Questo ramo di studi venne singolarmente promosso da Gilbert, medico inglese, colla sua opera *De magnete magneticisque corporibus, et de magno magnete tellure*, etc., uscita in luce nel 1590, e svolto poi da Halley (1683), da Eulero (1744), da Cassini (1784), da Coulomb (1789), e da tant'altri.

Induzione magnetica.

§ 297. Per esser più brevi, raccoglieremo i principali fatti in una serie di osservazioni.

Osserv. 1.^a — Il ferro ed il magnete si influenzano scambievolmente, per accostarsi fra loro.

Secondo che, con opportuno modo di sospensione, si rendono minori le resistenze al movimento, sia nel ferro, sia nella calamita, il moto d'accostamento può determinarsi ora in quello ed ora in questa. E la eguaglianza fra i rispettivi loro sforzi d'avvicinamento può facilmente rilevarsi con una bilancia squisita, ad un braccio della quale, successivamente, si sospenda questo o quel corpo, tenendo l'altro al disotto, per modo che, nelle due prove, abbian fra loro un'eguale distanza e si prospettino in egual modo colle rispettive loro parti.

Quanto è qui detto per l'azione reciproca tra magnete e ferro, vale anco per le analoghe azioni tra magnete e gli altri corpi magnetici, benchè meno energiche. E valga questo avviso anche per le susseguenti osservazioni, ove quanto dicesi pel ferro s'applica a tutti i corpi magnetici.

2.^a L'intensità di codesta mutua azione tra ferro e magnete varia in ragione reciproca dei quadrati delle rispettive distanze, e non subisce variazione coll'interposizione di qualsiasi corpo non magnetico (a).

Coulomb si valse della bilancia di torsione per verificare questa legge. Un lungo ago magnetizzato, sostenuto in bilico da lungo e sottilissimo filo d'argento, è disposto entro cassa di vetro, sicchè si possano misurare gli angoli di torsione da prodursi nel filo, onde la forza di detorsione equilibri l'azione magnetica nei singoli casi; avendo però cura di serbare immutata la disposizione relativa delle parti dei due corpi che si prospettano (fig. 179).

3.^a Nelle diverse sezioni trasversali d'un dato magnete artificiale codesta azione riesce massima presso le due estremità della verga

(a) L'interposizione d'una lamina di ferro modifica quest'azione, a motivo di induzione reciproca, giusta l'osservazione decima.

(sia che l'asse di questa sia rettilineo, oppur piegato ad U), e *decresce rapidamente procedendo verso la sezione trasversale mediana, dove può dirsi nulla.*

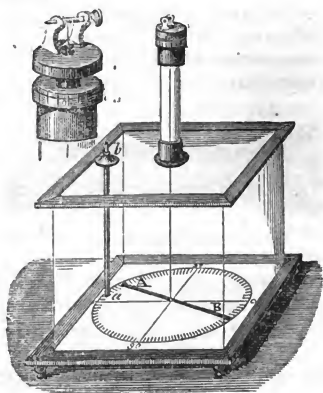
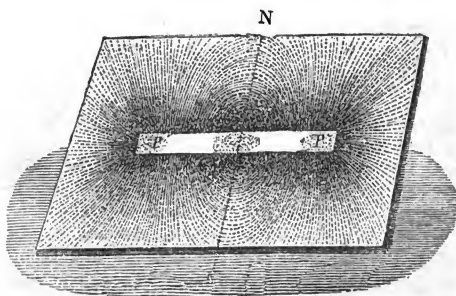


Fig. 179.

Perciò chiamansi *poli* d'un magnete quei punti ove manifestasi massima l'azione magnetica, e *linea neutra* la sezione ove appare nulla. Siffatta ineguale intensità dell'azione magnetica risulta evidente



N'

Fig. 180.

sovrapponendo una lastra di vetro alla calamita fissata colla linea dei poli orizzontale, facendovi cader sopra, per mezzo d'un cribro,

finia limatura di ferro e percuotendo poi dolcemente la lastra coll'unghia, si dà farla vibrare e render meglio mobili le particelle di ferro. Di tal modo si disegnano chiaramente su la lastra le così dette *linee d'azione magnetica*, che sono curve concorrenti ai poli, i quali ponno riguardarsi come centri dell'azione istessa.

È pur facile rilevare questa ineguaglianza d'azione nelle varie parti d'un magnete retto col semplice rotolarlo nella limatura.



Fig. 181.

Più precisamente la si valuta codesta varia intensità coll'impiego della bilancia di torsione. Oppure la si deduce dalle oscillazioni d'un piccolo ago magnetizzato, il cui piano di oscillazione sia perpendicolare all'asse d'un magnete retto ed un cui polo sia posto successivamente a determinata distanza dalle singole sezioni trasversali del magnete stesso. Si ritengono allora le intensità magnetiche d'ogni sezione direttamente proporzionali ai quadrati dei numeri di oscillazioni fatte in tempi eguali, dedotti però quelle corrispondenti all'azione magnetica della terra.

4.^a *I due poli d'un magnete esercitano una opposta azione* (l'uno attrattiva, ripulsiva l'altro) *sopra uno stesso estremo del magnetoscopio.*

Dicesi *polarità magnetica* l'insieme delle dette proprietà di un magnete, cioè l'avere due poli di contraria azione, separati da una linea indifferente.

Diconsi poi *poli omonimi* o di egual natura quegli estremi di due magneti che operano similmente su d'uno stesso polo d'un magnetoscopio, attraendolo o respingendolo entrambi; e diconsi *poli contrari* quei due estremi che invece agiscono in modo opposto, attraendo l'uno ciò che l'altro respinge.

5.^a *I poli omonimi di due magneti, ove questi sieno liberi di muo-*

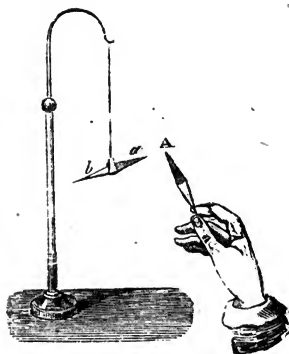


Fig. 182.

versi, manifestano una reciproca azione repulsiva, laddove i poli contrari delle calamite stesse si attraggono mutuamente.

E queste azioni reciproche delle calamite, tanto l'attrattiva quanto la ripulsiva, col variare delle distanze fra i loro poli, seguono la medesima legge accennata all'Osserv. 2.^a, come si può dimostrare colla bilancia di torsione.

6.^a *I due poli d'una stessa calamita, benché contrari d'azione (Osserv. 4.^a), hanno tra loro un così intimo nesso, che in niun modo si possono aver disgiunti l'uno dall'altro.*

Spezzando una sottil verga magnetizzata od un magnete, in quante parti si voglia, ciascuna manifesta da sé completa la polarità, e le due facce d'ogni frattura presentano due poli contrari. Ricostituendo

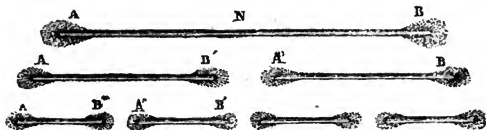


Fig. 183.

il magnete già infranto col ricollocare i singoli frammenti nella stessa posizione e direzione che tenevano innanzi spezzarlo, si manifesta in modo distinto soltanto la polarità primitiva. Devesi dunque ammettere il principio che:

La polarità magnetica d'una calamita corrisponde alla risultante delle azioni polari delle singole sue particelle, aventi i rispettivi poli contrari affacciati, ed i poli omonimi volti tutti da una medesima banda rispetto alla linea neutra.

Un modo opportuno a mettere in evidenza la condizione di cose

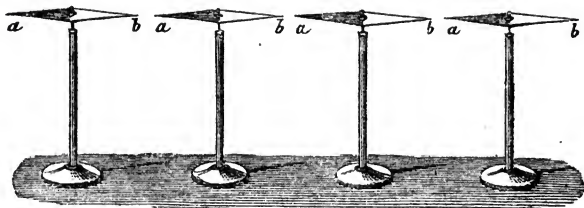


Fig. 184.

qui supposte, sta nel disporre parecchi aghi calamitati o parecchie verghette d'acciaio magnetizzate ruotanti su appositi perni verticali,

situati questi in una medesima retta, e cosicchè quelli abbiano i rispettivi estremi che si prospettino a pochissima distanza l'uno dall'altro. Lasciati a sè questi aghi, grazie al magnetismo terrestre ed alle reciproche loro influenze, si disporranno coi loro assi di figura in uno stesso piano e col loro poli omonimi volti tutti da una medesima banda, quasi fossero un lungo ago magnetizzato. E se allora ad un estremo di questo sistema si presenta, sia un ferro dolce, sia un polo magnetico, si vedranno agitarsi concordemente tutti gli aghi, sino a ridursi in una nuova direzione di equilibrio. E così appar chiaro che ciascuno di essi opera allora come far debbono i minori gruppi molecolari polarizzati nell'interno di un magnete.

7.^a *Il ferro dolce sotto l'influenza di un polo magnetico, cioè in prossimità di questo, manifesta una decisa polarità, che dicesi indotta, poichè sussiste solo in quanto vige tale influenza, e cessa col discostarne lo.* Però il polo indotto (nel ferro) più vicino al polo inducente (del magnete) è contrario a questo, mentre il più lontano è omonimo. Codesto fenomeno, nel suo insieme, appellasi *induzione magnetica*.

Fissando una lunga verghetta di ferro dolce col suo asse verticale, e disponendo in prossimità del suo estremo inferiore, sia un piccolo

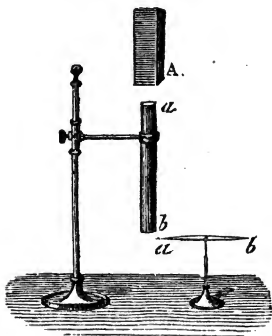


Fig. 185.

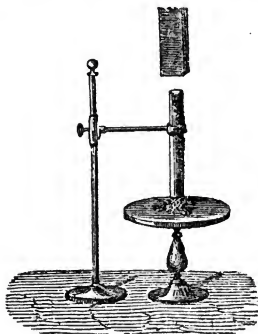


Fig. 186.

ago magnetoscopico, sia fina limatura di ferro sovra opportuno sostegno, si vedrà quello dirigersi e questa venir attratta, quando si accosti un polo magnetico all'estremo superiore della verghetta, appunto come se codesto polo magnetico fosse direttamente accostato all'ago od alla limatura.

Un cilindretto di ferro dolce, attratto e sorretto dal polo di un forte magnete, potrà attrarne e sostenerne un altro, e questo un terzo, e talora anche più. Ciascuno acquista la polarità indotta in opera dell'antecedente, risultando contrari tra loro i poli affacciati di due contigui cilindretti, ed omonimi i poli dei singoli pezzi volti da una medesima banda rispetto al polo inducente del magnete. Staccando poi da questo il primo cilindretto, tutti perdono la polarità.

Perciò anco le particelle di limatura di ferro, che si congiungono, a guisa di filamenti, ai poli d' un magnete, saranno similmente polarizzate. Epperò il fenomeno, da principio notato, della azione attrattiva esercitata da una calamita sul ferro, accade in seguito ad una induzione magnetica da questo subita; e sta quindi quest'altro principio, che:

Il ferro, in prossimità d'un polo magnetico, acquistando la polarità indotta, si comporta come fanno due magneti, i cui poli contrari siano affacciati (Osserv. 5.^a).

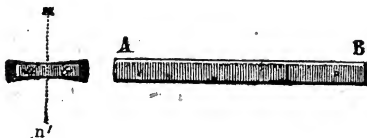


Fig. 187.

E se poi il ferro viene attratto egualmente da ambedue i contrari poli d'un magnete, egli è che esso si polarizza sempre, ma in contrario verso, secondo che trovasi in maggior prossimità piuttosto dell'uno che dell'altro polo. Ed in ogni caso codesta *polarità indotta* scompare nel ferro col sottrarlo a tale azione induttrice. Lo stesso dicasi per gli altri corpi magnetici.

Anche un ago magnetizzato, in prossimità d'un forte polo magnetico, vien da questo attratto, pur col suo polo omonimo, prevalendo la polarità indotta a quella propria dell'ago.

8.^a *I poli omonimi di due magneti si rinforzano mutuamente quanto alla loro contemporanea azione induttrice sui corpi magnetici; laddove s' indeboliscono scambievolmente le azioni dei poli contrari.*

Laonde unendo insieme parecchi magneti artificiali d'egual forma coi loro poli omonimi posti dalla stessa banda rispetto alla loro linea neutra, si ottiene un *magnete composto*, assai più efficace di ciascheduno di essi preso da solo.

9.^a Combinando tra loro i poli eteronimi di più calamite si ponno costituire dei circuiti magnetici, ne quali l'azione induttrice esterna è quasi annullata.

Abbiansi tre calamite rette, di eguali dimensioni e magnetizzate in egual grado, cosicchè, coprendole con una lastra di vetro spolverata superiormente di fina limatura di ferro, diano ciascuna le linee magnetiche come alla pag. 494. Disponendole a contatto coi rispettivi estremi eteronimi, in modo da costituire un U, scompariranno le linee corrispondenti ai poli ridotti a contatto ed appariranno invece più efficaci alle due estremità libere, come fosse divenuta una sola calamita continua ad U. Se poi con una quarta calamita, simile alle precedenti, si chiuderà il rettangolo formato dalle precedenti, s'avrà come un circuito magnetico chiuso, la cui azione induttrice esterna sarà pressochè nulla, grazie alla reciproca neutralizzazione degli otto poli, i quali restano uniti a due a due gli eteronimi; talchè scarse assai saranno le curve magnetiche che allora s'avranno su la lastra. Lo stesso effetto si otterrà sostituendo a quest' ultima calamita una verga di ferro dolce congiungente i due poli liberi dell'altre tre calamite: poichè questa verga si magnetizzerà concordeamente per induzione, a guisa dell'ancora d'una calamita (Oss. 15.^a).

10.^a *La interposizione di una lamina di ferro dolce fra un magnete ed un ago magnetico modifica l'azione magnetica del primo sull'altro* nel modo seguente, giusta recenti esperienze del prof. Pisati. Per piccola distanza quest'azione riesce affievolita colla interposizione della lamina; però questo indebolimento va diminuendo coll'aumentare della distanza, sino a ridursi nullo ad una data distanza (dove cioè la lamina non esercita alcuna influenza perturbante): ed oltrepassando poi questa distanza, l'azione medesima riesce invece mano mano invigorita di più. La distanza dell'influenza nulla varia colla intensità magnetica della calamita e colle dimensioni della lamina.

11.^a In una lamina circolare di ferro dolce il magnetismo indotto da una calamita riesce sempre massimo al perimetro. Però, in corrispondenza allo spigolo della calamita si nota un altro massimo, ma di minore intensità.

Magnetizzazione.

§ 298. Ma ora diremo con quali artifici si preparino i magneti artificiali, cioè come si possa comunicare all'acciaio una polarità permanente, simile a quella di un magnete naturale.

12.^a *L'acciaio, massime se è fortemente temperato, si presta più difficilmente del ferro dolce ad assumere la polarità magnetica per induzione; ma quando poi giunga in qualche modo ad acquistarla, la conserva a lungo, pur sottraendolo all'azione del magnete induttore.*

Codesta proprietà dell'acciaio vien detta *forza coercitiva*, e meglio direbbesi *coibenza magnetica*.

13.^a Da qui l'attitudine dell'acciaio a formare magneti permanenti per diversi metodi, dei quali si espongono solamente i più usati.

Magnetizzazione per contatto semplice, valevole per le verghe sottili e per gli aghi d'acciaio. Si fa strisciare ripetutamente, e sempre nel medesimo verso da un capo all'altro della verga, il polo di una calamita retta, il cui asse sia tenuto obliquo rispetto a quello della verga. L'estremo di questa che è per ultimo toccato dal polo inducente assume il polo contrario (Osser. 7.^a), mentre risulta polo omonimo l'estremo toccato per primo. Fino ad un certo limite, detto *punto di saturazione*, l'intensità magnetica acquistata per induzione e conservata da una data verga va crescendo col numero degli strofinamenti, colla vigoria della calamita inducente e col grado di tempera della verga.

Magnetizzazione per contatto separato, opportuna per le grosse e lunghe verghe d'acciaio colle quali si formano i magneti composti. La verga da magnetizzare si fa posare per circa un quinto della sua

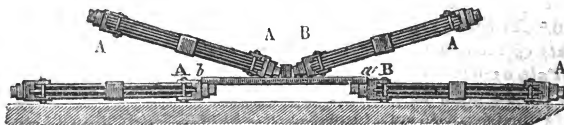


Fig. 188.

lunghezza da ciascun capo sui poli opposti di due magneti retti piuttosto vigorosi: due altre calamite simili, tenute inclinate, ma in contrario verso, di 25° a 30° rispetto all'asse della verga, si appoggiano sul mezzo di questa coi poli contrari accostati, sicché però ciascuno di essi riesca omonimo al polo sottostante del corrispondente magnete: allora le si muovono in senso contrario, ciascuna verso uno degli estremi della verga, strisciandone la superficie, così da suscitargli vibrazioni elastiche. Ivi giunte, si sollevano ad un tempo, le due calamite, e le si riportano nel mezzo, come dapprincipio. E così si rinnovano più volte gli stessi moti e strisciamenti, sino a magnetizzare la verga a saturazione. I poli di questa risultano contrari rispettivamente ai poli inducenti che li toccarono.

14.^a Le calamite naturali conservano più a lungo la loro forza, ed anzi si rin vigoriscono, adattando a ciascuna porzione della loro superficie cui corrispondono i poli (dove meglio s'attacca la limatura di ferro) una lamina di ferro dolce, munita di un'appendice prismatica rettangolare, pure in ferro dolce. Queste lamine ed appendici, che diconsi *armaure* della calamitta, ne ricevono per induzione la

polarità, e la manifestano più distinta. Se poi una verghetta prismatica dello stesso metallo, detta *ancora*, vien applicata sì da toccar entrambi i poli (le appendici) delle armature, e se si fanno portare dei pesi, che a poco a poco si accrescono, si vien aumentando notevolmente la forza della calamita stessa, siccome osservò Galileo, il quale insegnò appunto ad armare di tal modo i magneti naturali. Però se l'ancora viene strappata per soverchio peso, codesto guadagno di forza va in gran parte perduto, e solo lo si riacquista col rinnovare l'applicazione di pesi gradatamente e lentamente crescenti.

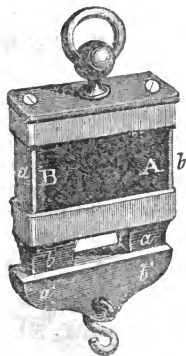


Fig. 189.

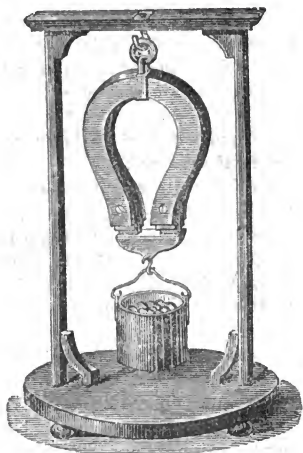


Fig. 190.

15.^a Anche nei magneti artificiali piegati ad U si mantiene e si aumenta la forza coll'adattarvi un'ancora, e coll'accrescere successivamente i pesi da questa portati. Però lo strappamento dell'ancora produce lo stesso danno sovra notato.

Le calamite rette si conservano associandone due, disposte cogli assi paralleli e poco discosti e coi poli contrari affacciati, e facendo o comunicare le loro estremità con due verghette di ferro dolce, a modo di ancora (fig. 192), le quali, colla polarità indottavi, fissano, per così dire, la polarità contraria dei magneti (Oss. 9.^a).

16.^a Codesti fatti mettono in evidenza un'azione induttrice esercitantesi dal corpo indotto su l'inducente, e quindi una *reciproca induzione magnetica* fra le parti affacciate de' due corpi.

Epperò anche il fatto fondamentale dell'attrazione reciproca tra magneti e ferro è il risultato della loro reciproca induzione po-



Fig. 191.

lare, onde sorge tra essi una opposta tensione, la cui intensità va crescendo col diminuire della loro distanza.

17.^a La polarità magnetica è una proprietà dei corpi magnetici correlativa ad una peculiare disposizione od orientazione delle loro molecole.

Ciò può inferirsi dalle precedenti osservazioni (6 a 9), ed altresì dai fatti seguenti:

Coll'aumentare la temperatura, i magneti, sì artificiali che naturali, scemano nell'intensità della loro azione, e scaldandoli poi al calor rosso, perdono al tutto la polarità. Anche i corpi magnetici, a temperatura qual più qual meno elevata, perdono ogni virtù magnetica, cioè ogni attitudine ad operare sui magnetoscopi. Secondo Pouillet, ciò accade al calor rosso bianco pel cobalto, al rosso ciliegia pel ferro, al rosso oscuro pel cromo, ed a 350 pel niccolo. Il manganese non manifestasi magnetico che a temperature inferiori a — 20°.

Un cartoccio contenente fina limatura di ferro, in opera di forte magnete, riceve e conserva per un po' di tempo la polarità, ma la perde tosto, premendone la superficie, sì da smuovere per entro le particelle.

Una verga di ferro dolce, disposta col suo asse parallelamente ad un ago d'inclinazione, sicchè manifesti la polarità per induzione della terra, può conservare per alcun tempo tale polarità se la si scalda e la si lascia poi raffreddare in sito, o se la si percuote ripetutamente a martello, ovvero se la si torce forzatamente, pure in sito.

Una verga d'acciaio magnetizzata, perde una parte della sua forza magnetica col torcerla, e tal poco anche col solo infletterla. Wiedemann, con numerose e svariate serie di confronti sperimentali, dimostrò sussistere una piena analogia fra le particolarità della magnetizzazione del ferro dolce e dell'acciaio (pur ottenuta colle correnti elettriche; come si dirà innanzi) ed i fenomeni meccanici che accompagnano la torsione e la flessione delle verghe di ferro o d'acciaio.

Le verghe d'acciaio, massime se sono grosse, acquistano e conservano un più alto grado di magnetizzazione quant'è più alto il grado della loro tempera. Le verghe sottili spiegano in proporzione di esso, una forma magnetica maggiore delle grosse. Una verga cava d'acciaio a forma tubulare, acquista una virtù magnetica assai maggiore di altra piena, a pari dimensione ed a pari tempera, come osservò Nobili, sebbene la massa sia minore di molto, poichè nella cava opera la tempera anche su le parti interne.

L'intensità d'azione d'una calamita che ricevette la magnetizzazione sotto una data temperatura, diminuisce non solo quando la temperatura dell'ambiente risulta più elevata, ma ancora, benchè meno sentitamente, quando la temperatura riesce più bassa, siccome provarono Dufour e Wiedemann.

Quando, mercè la potente azione magnetizzatrice d'una corrente elettrica si provoca e si sospende o s'inverte rapidamente la polarizzazione magnetica in una verga di ferro dolce, in molti casi si producono suoni, e contemporaneamente si verificano variazioni nelle dimensioni, nella elasticità, nella temperatura, nella conduttività termica, in breve nella struttura della verga stessa, siccome osservarono Delarive, Joule, Wertheim, Grove e Maggi (a).

È pur degno di nota il fatto che i metalli magnetici hanno pesi molecolari tra loro poco differenti, cioè il manganese 55, il ferro 56, il niccolo 59, ed il cobalto 59.

18.^a Or tutte le precedenti osservazioni concorrono a far ammettere i principii seguenti, che ponno servire di base ad una teoria sperimentale dei fenomeni magnetici:

a) Nel ferro non magnetizzato e negli altri corpi magnetici le molecole, tuttochè dotate di polarità, non manifestano all'esterno una sensibile risultante magnetica, essendo disposte irregolarmente, secondo tutte le possibili direzioni, cosicchè si elidono mutuamente le singole loro azioni polari.

b) Coi varii processi di magnetizzazione le molecole tendono a ridursi coi loro assi magnetici paralleli e coi loro poli contrari affacciati; ed il massimo di magnetizzazione, ovvero il punto di saturazione, corrisponde ad un effettivo parallelismo degli assi medesimi. Perciò l'acquistare od il perdere la polarità magnetica vanno connessi con cambiamenti nella posizione relativa delle molecole del corpo magnetico.

c) Il calore, l'elettricità e le azioni meccaniche influiscono favorendo o contrariando codesti moti molecolari di orientazione magnetica.

(a) Veggansi questi ed altri fatti analoghi nelle mie *Lezioni di Fisica*, pag. 137 e seg.

d) La varia forza coërcitiva o coibenza magnetica corrisponde ad una maggiore o minor resistenza spiegata dalle molecole, grazie alle loro forze aggregative, al mutare di posizione relativa sotto l'induzione magnetica, ed al ritornare alla primitiva posizione, cessata l'azione induttrice.

E per questi rilievi si stima inutile di far qui parola dei *fluidi magnetici* (a), del tutto ipotetici, col giuoco artificioso dei quali alcuni fisici pensano potersi dare spiegazione dei predetti fenomeni magnetici.

§ 299. Però, fatta astrazione d'ogni supposizione, ci pare che le precedenti osservazioni si raccolgano tutte nella seguente tesi:

L'azione magnetica esercitantesi tra due corpi è in ogni caso la risultante delle mutue azioni polari delle singole loro molecole, le quali, almeno temporaneamente, riescono polarizzate così che, mentre per un lato mutuamente si attraggono, per un altro si respingono mutuamente: e quest'azione è pur sempre tale che l'orientamento de' poli delle molecole riesce, o tende a riescire concorde nel verso de' due corpi. — Tra corpi magnetizzati (calamite naturali od artificiali) e corpi magnetici v'è questa differenza, che nei primi è durevole ed in un senso determinato la polarizzazione delle molecole, negli altri, le molecole si polarizzano solo in opera di vicino magneti, e quindi ponno assumere un diverso orientamento col mutar la disposizione di questo, in riguardo alle parti di quelli.

Magnetismo terrestre.

§ 300. Il *globo terrestre* è dotato di *polarità magnetica*, cioè agisce come un'immensa calamita naturale, la linea dei poli della quale sia tal poco inclinata rispetto all'asse della sua diurna rotazione (b).

Un ago magnetico (chè così per brevità si denomina un ago di acciaio magnetizzato), il quale sia libero di ruotare in un piano orizzontale, manifesta, in ogni punto della superficie terrestre, un'azione

(a) Si suppone l'esistenza d'un fluido magnetico *boreale*, e di un altro *australe*. Fra questi due fluidi imponderabili sarebbevi mutua attrazione; però si respingerebbero mutuamente le molecole d'uno stesso fluido, e sarebbevi mutua attrazione tra la materia grave d'un corpo magnetico e ciascuno di questi fluidi. E tutte queste forze dovrebbero essere in equilibrio quando il corpo magnetico non è magnetizzato.

(b) Questa tesi venne primamente sostenuta con fondati argomenti da Gilbert nella succitata sua opera. Ivi dimostra come su di un magnete naturale, tagliato a forma sferica, i piccoli aghi magnetici si dirigano appunto come fanno su la superficie della terra i declinatorii e gli inclinatorii.

direttrice su di esso esercitata dalla terra stessa, per cui offre un equilibrio stabile sol quando tiene una determinata direzione e volge in un dato verso i suoi poli.

In generale, la linea di equilibrio d'un ago magnetico orizzontale.

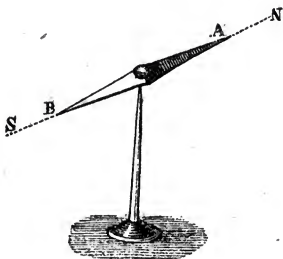


Fig. 192.

cioè la direzione del piano verticale passante per i poli dell'ago istesso, che dicesi anche piano del *meridiano magnetico* ad esso corrispondente, non differisce molto da quella del meridiano astronomico passante pel suo asse di rotazione. E quindi, per luoghi aventi diversa longitudine, ma situati in uno stesso emisfero, gli aghi magnetici assumono direzioni sensibilmente concorrenti verso il corrispondente polo astronomico. Siccome poi evvi attrazione fra i poli eteronimi di due magneti (Oss. 5.^a), così dicesi *polo australe* o *polo sud* d'un ago magnetico quello che volgesi al polo nord della terra: mentre l'altro, volto a sud, dicesi *polo boreale* o *polo nord* dell'ago stesso.

Taluni però invertono codeste denominazioni, badando soltanto alla situazione degli estremi dell'ago rispetto ai punti cardinali del globo. Noi qui riterremo il primo modo di denominazione.

Posto il globo terrestre quale un grande magnete i cui poli magnetici distino poco dai poli astronomici, o meglio supponendo l'azione magnetica della terra prodotta da un potente magnete sita nel centro di essa, e quindi ad una distanza infinita rispetto alle dimensioni dell'ago, si comprende che questo si dirigerà come fosse spinto da una coppia (§ 41) di sollecitazioni al moto eguali tra loro, dirette parallelamente, ma in versi opposti, ai due estremi dell'ago stesso. Infatti il polo A di questo è contemporaneamente sollecitato a volgersi verso il polo magnetico N della terra ed a discostarsi dal polo S di questa: laddove il polo B dell'ago è respinto dal polo N del globo e sollecitato verso il polo S: però essendo eguali

tra loro in grandezza le sollecitazioni esercitate da ciascun polo terrestre sui due poli dell'ago (benchè quelle del polo N saranno più gagliarde dell'altre nell'emisfero boreale), accadrà che saranno pur eguali tra loro in grandezza le risultanti delle due sollecitazioni operanti su ciascun polo dell'ago.

E che l'azione risultante di questa coppia sia semplicemente direttrice per l'ago mobile in un piano orizzontale, lo si dimostra sperimentalmente posando su la superficie dell'acqua contenuta in un bacino un dischetto di sovero che sorregga un ago magnetizzato. Questo non presenterà nessuna tendenza a trasferirsi su la superficie orizzontale piuttosto verso questo o quel polo terrestre; bensì dirigerà il suo asse longitudinale, come farebbe se fosse sorretto da un perno verticale, oppur sospeso ad un filo elastico (§ 296).

Volendosi poi un *magnetoscopio* (§ 296) molto sensibile, nel quale cioè l'azione direttrice della terra sia ridotta estremamente piccola, si riuniscono due aghi, affatto simili e magnetizzati in egual grado, disponendoli coi loro assi di figura paralleli, ma coi loro poli diretti in opposto verso. In tal modo, se per avventura questi due aghi risentissero l'azione magnetica terrestre con eguale intensità, elidendosi le due eguali ed opposte azioni da essa esercitate sui due poli eteronimi situati a ciascun estremo, s'avrebbe un *sistema astatico*, che starebbe in quiete in qualsiasi direzione, benchè fosse pendente da un filo sottile di seta.

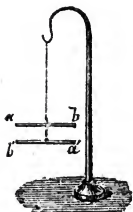


Fig. 193.

Chiamasi *declinazione magnetica* d'un dato punto terrestre l'an-

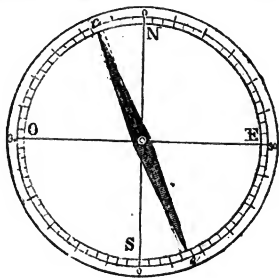


Fig. 194.

golo formato dal meridiano magnetico col meridiano astronomico, corrispondenti ambedue alla verticale di tal punto ov'è fissato l'asse

di rotazione dell'ago magnetico. E la declinazione si distingue in *orientale* ed *occidentale*, secondo che il polo australe dell'ago riesce all'est od all'ovest del meridiano astronomico. Attualmente la declinazione è occidentale nell'Europa, ed orientale nell'Asia settentrionale e nella parte occidentale dell'America settentrionale. Quei punti in cui coincidono i due meridiani il magnetico e l'astronomico, costituiscono le *linee senza declinazione*. Le linee congiungenti i punti terrestri, pei quali è eguale la declinazione magnetica, diconsi *linee isogoniche* o di egual declinazione, ed anche *meridiani magnetici della terra*.

Dicesi *declinatorio* o *bussola di declinazione* lo strumento che serve a determinare la declinazione magnetica d'un luogo. Consiste essenzialmente in un ago magnetico, girevole su di un perno verticale fisso nel centro d'un cerchio graduato il quale si dispone oriz-

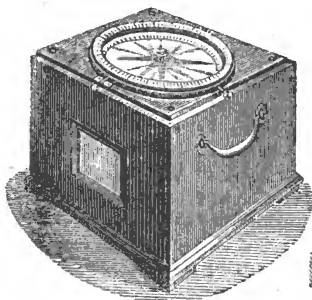


Fig. 195.

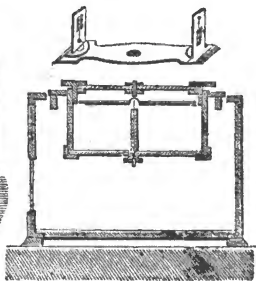


Fig. 196.

zontale, col diametro corrispondente alle divisioni 0° e 180° diretto secondo il meridiano astronomico passante pel centro, e colla divisione 0° volta a nord. Però conviene che l'ago ed il raggio del cerchio siano di tal lunghezza da potersi facilmente valutare anche i minuti primi di grado. Le bussole marine, mercè il sistema di sospensione alla Cardano, conservano orizzontali l'ago ed il cerchio graduato, malgrado i vari moti d'ondulazione della nave.

§ 301. Si denomina *ago d'inclinazione* un ago magnetico, il cui asse di rotazione sia crizzontale ed il cui piano verticale di rotazione corrisponda al meridiano magnetico. Benchè il suo centro di gravità cada nell'asse stesso di rotazione, esso prende nelle nostre contrade una posizione d'equilibrio stabile sol quando la linea dei poli dell'ago forma un determinato angolo col piano orizzontale passante

per l'asse (angolo che dicesi *inclinazione magnetica* del luogo), e tiene il suo polo australe volto in basso verso il polo nord della terra.

Se si fa girare il piano di rotazione dell'ago attorno la verticale corrispondente al centro di gravità dell'ago stesso, si rileva che la

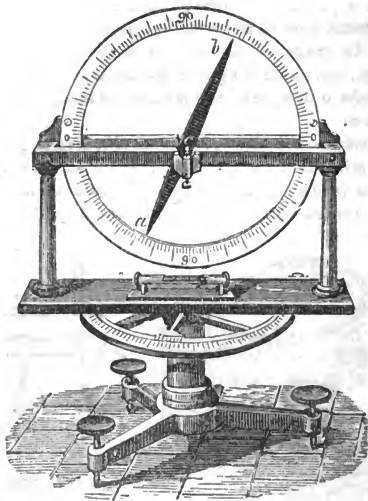


Fig. 197.

inclinazione dell'ago varia per modo, che è massima (dirigendosi l'ago verticalmente colla sua linea dei poli) lorché il piano di rotazione è perpendicolare al meridiano magnetico, ed è minima quand'è coincidente.

L'*inclinatorio* o *bussola d'inclinazione* consiste in un lungo ago magnetico, ruotante, su di un asse orizzontale, passante pel centro d'ampio cerchio verticale graduato, il cui diametro corrispondente alle divisioni 0° e 180° è ridotto orizzontale; codesto cerchio può ruotare, alla sua volta, attorno un asse verticale passante pel centro d'altro cerchio orizzontale graduato, per modo da poter ridurre il piano di rotazione dell'ago nel meridiano magnetico e da poter quindi determinare l'angolo d'inclinazione con molta approssimazione.

Questa misura, per essere esatta, richiede: che la retta passante per le divisioni 0° e 180° sia orizzontale; che la retta passante pei poli dell'ago coincida coll'asse di figura del medesimo, e che l'asse di

rotazione dell'ago coincida col suo centro di gravità. Ad ovviare gli errori provenienti dall'imperfetto adempimento di queste condizioni si ripetono più volte le letture dell'angolo d'inclinazione, cioè prima col dare due opposte disposizioni del cerchio verticale (sempre però in rispondenza al meridiano magnetico), poi coll'invertire le faccie dell'ago rispetto a quelle del detto cerchio ed infine col rovesciare la polarità dell'ago stesso con una magnetizzazione inversa.

La direzione dell'inclinatorio segna per ciascun punto terrestre, le linee d'azione magnetica (Osserv. 3.^a) della terra. Quindi si osserva che una verga di ferro dolce, diretta a seconda di esse, risentendo più intensa l'induzione terrestre, presenta più distinta la polarità indotta (Osserv. 7.^a).

La inclinazione magnetica va decrescendo, in generale, colla latitudine dei varii luoghi: nelle regioni polari l'ago d'inclinazione è quasi verticale, e vicino all'equatore tiensi pressochè orizzontale. Dicesi *equatore magnetico della terra* la linea congiungente i punti della superficie terrestre pei quali l'inclinazione è di 0°, stando ivi l'ago inclinatorio orizzontale; e diconsi *poli magnetici della terra* quei punti ove l'inclinazione è di 90°, stando l'inclinatorio verticale. Secondo Duperrey sarebber questi situati l'uno a 70° di latitudine e 90° di longitudine O., e l'altro a 75° S. di latitudine e 130° E. di longitudine.

Halley, Hansteen e Sabine supposero invece l'esistenza di due poli magnetici boreali, e di altri due australi, uno di essi però più debole dell'altro. Secondo Gauss, nell'emisfero boreale, il polo più forte sarebbe a 54° 22' di latitudine ed a 261° 27' E. di longitudine, ed il più debole alla latitudine di 71° 20' e longitudine 119° 57' E., e le loro intensità relative, secondo Sabine, starebbero come 1,07 ad 1,0.

Diconsi poi *linee isocliniche* quelle che congiungono i punti della superficie terrestre pei quali è eguale l'inclinazione.

§ 302. L'*intensità magnetica*, nei varii punti della superficie terrestre, si desume dalla inclinazione e dal numero delle vibrazioni fatte in un dato tempo da uno stesso ago di declinazione, deviato che sia dal meridiano magnetico. Per due diversi punti le corrispondenti intensità magnetiche I ed I' si ritengono direttamente proporzionali ai quadrati dei numeri di oscillazioni n ed n' fatte nell'unità di tempo da uno stesso ago declinatorio, ed inversamente proporzionali ai coseni dei corrispondenti angoli d'inclinazione i ed i' , cioè:

$$I : I' = \frac{n^2}{\cos i} : \frac{n'^2}{\cos i'}.$$

Però l'intensità stessa riesce massima ai poli magnetici della terra,

e minima all'equatore magnetico, ed i corrispondenti valori estremi stanno fra loro prossimamente come 1,823 ad 1,0. Diconsi poi *linee isodinamiche* quelle che comprendono i punti della superficie terrestre pei quali è uguale la intensità magnetica.

Variazioni del magnetismo terrestre.

§ 303. Tanto le variazioni regolari, quanto le perturbazioni nei varii elementi del magnetismo terrestre si mostrano determinate da un'azione diretta del sole, e per qualche parte della luna, e fors'anco dei maggiori pianeti del sistema solare. Codeste perturbazioni e variazioni mostrano pure un intimo rapporto colle aurore polari, colla luce zodiacale e coll'elettricità atmosferica.

La declinazione, l'inclinazione e l'intensità magnetica presentano in ciascun punto della superficie terrestre alcune variazioni regolari o periodiche, ed altre irregolari, dette perturbazioni.

Le osservazioni istituite in diversi punti terrestri, e segnatamente quelle fatte dal 1843 in poi nelle stazioni magnetiche di Toronto, di Hobarttown, nel Capo di Buona Speranza, e di S. Elena, sotto la direzione del colonnello Sabine, quelle di Hansteen a Cristiania, (1828-1857), quelle di Lamont dopo il 1842 a Monaco, e quelle di Secchi a Roma, conducono a distinguere quattro sorta di variazioni regolari, cioè: il periodo diurno, il periodo annuo, il periodo undecennale e le variazioni secolari.

Il polo australe (volto a nord) dell'ago declinatorio offre in ogni luogo una variazione secolare, in quanto che accenna d'andar oscillando ora all'est ed ora all'ovest del meridiano magnetico, ricorrendo le medesime posizioni nel periodo d'alcuni secoli. Così a Londra, a Parigi, a Roma nel sedicesimo secolo, da che si istituirono attendibili osservazioni, la declinazione era orientale ed andò scemando, sino a ridursi nulla verso il 1660, indi divenuta occidentale; andò gradatamente crescendo sino al 1814. Da quest'epoca essa va mano mano diminuendo, cioè il polo australe dell'ago retrocede da O. ad E. (a).

Anche al Capo di Buona Speranza si notò un andamento analogo, tranne che furono un po' anticipate, rispetto alle precedenti, le epoche della declinazione nulla e del massimo occidentale. A Milano dal 1837 al 1843 la declinazione presentò una diminuzione annua di 6/5,

(a) A Parigi si ebbero le declinazioni seguenti:

1580	11°30' E.	1767	19°16' O.	1823	22°23' O.	1858	19°41' O.
1663	O. 0	1805	22. 4	1835	22. 4	1861	19. 26
1700	1. 10 O.	1814	22. 34	1849	20. 34	1864	18. 58

e dal 1845 al 1860 si ridusse da $17^{\circ} 28'$ a $15^{\circ} 20'$, con un decremento annuo di soli $6'0$.

Anche l'inclinazione presenta una variazione secolare. Però, da che la si osservò in Europa, essa offrì un continuo decremento. Così a Parigi l'inclinazione, che era di 75° nel 1671, si ridusse a $71^{\circ} 48'$ nel 1780, a 68° nel 1826, a $67^{\circ} 9'$ nel 1841, ed a $66^{\circ} 3'$ nel 1864.

Tuttavia è supponibile che pur l'inclinazione, raggiunto un certo minimo, abbia a presentare di poi un incremento, e quindi una variazione periodica. Così le osservazioni di Parigi dal 1778 al 1810 danno un decremento annuo di circa $5'$, mentre quelle dal 1820 in poi lo danno di $3'$, 5 soltanto. Similmente a Cristiania, dove l'inclinazione dal 1828 al 1857 variò da $72^{\circ} 16'$ a $71^{\circ} 24'$, il decremento annuo andò continuamente diminuendo, sì che Hansteen calcola l'epoca del minimo per l'anno 1918, con una inclinazione di $70^{\circ} 42'$.

La inclinazione offre altresì un periodo di 11 anni ed un decimo circa, nel quale verificasi un massimo ed un minimo. E la durata e le fasi di questo periodo offrono una singolare correlazione col periodo delle macchie solari, come risulta da questo raffronto, istituito dallo stesso Hansteen, fra le osservazioni magnetiche di Cristiania ed i dati di Wolf su le macchie del sole:

Massimi nell'inclinaz. magn.	1828,9	1840,0	1851,1	1862,2
Minimi idem.	1823,4	1834,5	1845,6	1856,7
Minimi nelle macchie solari	1822,2	1833,3	1844,4	1855,5

Laonde i minimi nell'inclinazione avvennero tutti un anno dopo quelli occorsi nelle macchie del sole. Però nei due primi periodi undecennali la differenza fra i corrispondenti massimi e minimi valori dell'inclinazione riuscì compresa fra $6'$ e $7'$, mentre nel terzo va compresa fra $4'$ e $5'$ soltanto (a).

§ 304. Le moltissime osservazioni magnetiche, istituite per lunghi anni in discosti punti terrestri, e raccolte dal generale Sabine, condussero il Secchi (1854 e 1862) a formulare alcune leggi relative alle variazioni diurne ed annue nella declinazione ed inclinazione della terra:

a) L'oscillazione diurna dell'estremo dell'ago declinatorio che guarda il sole è la stessa nei due emisferi: talchè quel che fa il polo boreale nel nostro emisfero, il fa nell'altro il polo australe; e nei luoghi vicini all'equatore l'oscillazione segue la legge dell'emisfero in cui trovasi il sole, e quindi varia di segno agli equinozii.

(a) Anche l'ampiezza delle oscillazioni diurne del declinatorio presenta, come rilevò Lamont a Monaco, un periodo di circa dieci anni, avendosi due massimi nel 1837 e nel 1848, e due minimi nel 1843 e 1853.

b) La variazione diurna ha un doppio periodo sovrapposto, diurno e semidiurno, e la sua grandezza varia colle stagioni e coi luoghi.

c) La variazione annua è simile in tutti i luoghi del globo e dello stesso segno della declinazione del sole.

d) L'inclinazione ha un periodo complementario della declinazione. Tanto essa, quanto la forza totale, seguono generalmente il periodo composto accennato per la declinazione.

Ora codeste leggi sembrano accennare che il sole operi sul nostro pianeta come una potente e lontana calamita la quale andasse di continuo modificando lo stato magnetico della superficie terrestre, appunto a motivo del moto diurna ed annuo di questa rispetto al sole.

Ad ogni modo le variazioni regolari diurne, annue ed undecennali, nel magnetismo terrestre si mostrano dipendenti da un'azione diretta del sole e delle protuberanze rosee. Ecco, ad esempio, dietro i dati dell'osservatorio del Secchi in Roma, la corrispondenza fra la media variazione diurna magnetica ed il numero dei gruppi di macchie osservati nel sole in un quinquennio:

Anni	Variaz. magn.	Macchie solari	Anni	Variaz. magn.	Macchie solari	Anni	Variaz. magn.	Macchie solari
1859	10,87	257	1864	8,33	97	1869	8,95	198
1860	10,98	251	1865	7,59	86	1870	10,97	262
1861	9,60	251	1866	7,14	81	1871	11,13	304
1862	8,99	166	1867	6,58	32	1872	10,65	292
1863	7,86	165	1868	7,13	92	1873	9,00	200

Anche le variazioni irregolari, o *perturbazioni*, che si verificano nel magnetismo terrestre, si mostrano dipendenti da un'azione del sole.

Offrono un periodo di circa dieci anni, verificandosi dei massimi e dei minimi in corrispondenza ai massimi ed ai minimi delle macchie del sole e delle protuberanze rosee della sua atmosfera.

Sabine rilevò che le variazioni nel magnetismo terrestre sono collegate altresì col moto della luna: però quest'influenza è affatto analoga, ma molto più debole di quella del sole. Tutti gli elementi magnetici sono modificati dalla presenza della luna: la declinazione presenta due periodi semidiurni, ed i due massimi coincidono coi passaggi superiore ed inferiore della luna pel meridiano magnetico; mentre le variazioni nella inclinazione sono anticipate di tre ore, cioè sono completamentarie nel periodo semidiurno rispetto a quelle della declinazione.

Quanto alle variazioni secolari, studiate per rispetto alla giacitura e direzione delle linee isogoniche ed isocliniche su la superficie ter-

restre in epoche tra loro molto discoste, si rileva uno spostamento progressivo delle linee senza declinazione, e quindi di tutta la distribuzione del magnetismo sul globo, a seconda del corso apparente del sole.

Le perturbazioni magnetiche mostrano altresì una rimarchevole correlazione colle aurore polari. È questo un fenomeno che si compie nell'alto dell'atmosfera nelle regioni polari, e che accade assai di frequente. A Cristiania, dal 1841 al 1853, lo si osservò circa 35 volte all'anno. Avviene di preferenza nel mesi di settembre ed ottobre, e di febbraio è marzo, cioè in prossimità degli equinozi; ben più di rado presso i solstizi. D'ordinario, il dì precedente la notte in cui verificasi un'aurora polare l'estremo australe del declinatorio è deviato all'O. di 10' e sino di 30'; verso il mezzo ed al finire dell'apparizione l'estremo stesso devia invece all'E. più del normale; e durante il fenomeno l'ago presenta oscillazioni irregolari, la cui ampiezza è talora di qualche minuto di grado. Il centro dell'anello luminoso riesce sul prolungamento dell'asse magnetico della terra. Codesto fenomeno è da attribuire, come ritiene Delarive, a lente e successive scariche o neutralizzazioni della elettricità positiva dell'atmosfera colla negativa della terra per mezzo delle alte correnti alisee che dall'equatore discendono verso i poli.

La qual supposizione venne d'assai avvalorata in occasione delle straordinarie aurore boreali osservate in quest'ultimi anni. Oltre alle solite perturbazioni negli stromenti magnetici, i fili telegrafici aerei di quasi tutta Europa, e segnatamente quelli di molta lunghezza e diretti presso a poco secondo i meridiani, sono percorsi da correnti elettriche tali, da dare vivaci scintille alle interruzioni del circuito, in modo analogo alle scariche che vi si producono in occasione degli ordinarii temporali elettrici della bassa atmosfera. Le aurore polari ponno dunque riguardarsi come temporali elettrici che, effettuandosi nell'alto dell'atmosfera ed in un mezzo molto diradato, esercitano influenze assai più estese e prolungate che non facciano i bassi temporali. E codeste perturbazioni nell'elettricità e nel magnetismo terrestre accaddero in tali epoche in cui verificavasi un massimo nelle macchie solari. Così negli anni in cui il sole fu ricco di macchie, secondo i dati suesposti, cioè dal 1869 al 1872, furono notate molte e splendide aurore polari, visibili anche in Italia. Merita soprattutto menzione l'aurora del 4 febbraio 1872, che riuscì molto brillante, anche veduta da Firenze e da Roma.

FENOMENI ELETTRICI.

§ 305. Circa 24 secoli or sono (e forse anche prima di Talete) conoscevano i Greci che l'ambra gialla strofinata, anche per poco, con altro corpo, mostra la proprietà di far accorrere a sé i corpuscoli leggieri o facilmente mobili che trovansi da essa poco discosti. Codesta osservazione rimase isolata ed infeconda per la scienza per ben ventidue secoli, finché la medesima proprietà venne riconosciuta nel vetro, nella ceralacca, nel solfo ed in molti altri corpi.

Questi fatti, presi di poi in attento e minuzioso esame per moltissimi fisici, dieder luogo a quella classe assai numerosa ed interessante di *fenomeni* che si dissero *elettrici*, dal nome *ἤλεκτρον* dato dai Greci all'ambra. E similmente dicesi *elettrizzato* od in *istato elettrico* ogni corpo che presenti l'anzidetta proprietà, e denominasi *elettricità* la energia che così si manifesta ne'corpi strofinati.

Accenneremo solo i primi passi fatti in questa via di studi. Gilbert (1590), nell'opera ricordata più sopra, riconosce in molti corpi la stessa proprietà dell'ambra: tali sono il vetro, il solfo, la gomma lacca, le resine solide, il diamante e molte pietre dure e preziose; immagina l'elettroscopio ad ago; e rileva alcune particolarità pel buon risultato di queste sperienze, e segnatamente la necessità che l'aria sia ben secca. Gli accademici del Cimento (1667) estendono il catalogo de' corpi elettrizzabili collo strofinio, e notano essere reciproca l'attrazione fra i corpi elettrizzati e quelli che loro stan presso. Boyle (1670) trova che l'attrazione elettrica si verifica anche nell'aria diradata.

Ottone Guerrichio (1672) con un globo di solfo, ruotante sopra un proprio diametro e strofinato col palmo della mano, costruisce la prima macchina elettrica; osserva il bagliore che accompagna la scarica elettrica, e la ripulsione dei corpi in seguito all'attrazione. Newton (1675) avverte l'attrazione elettrica trasmettersi attraverso una lastra di vetro. Hawkesbee (1709) surroga un cilindro di vetro al globo di solfo; osserva la luce elettrica diffondentesi nell'aria rarefatta, e nota il crepito che accompagna la scarica elettrica esplosiva. Grey e Wheeler (1727-29) sperimentano che i metalli ricevono e trasmettono lo stato elettrico ad essi comunicato, e che però lo perdono ben tosto, se non sono al tutto sospesi a fili serici.

Dufay (1733) dice chiaramente: « che i corpi elettrizzati attirano indifferentemente tutti quelli che nol sono, e li respingono tosto che divennero elettrizzati essi pure colla vicinanza o col contatto al corpo elettrizzato ». Scopre l'esistenza di due opposti stati elettrici, quello

del vetro e quello delle resine, strofnate similmente con pannolano. Ed osserva che tutti i corpi, posti su d'una lastra di vetro ben secca, si elettrizzano, avvicinando loro un tubo vitreo elettrizzato, e più distintamente i corpi metallici.

In seguito le esperienze si moltiplicarono e variarono grandemente per opera soprattutto di Desaguliers, Nollet, Musschenbroek, Franklin, Wilke, Beccaria, Wilson, Canton, Epino, Volta, Symmer, Cigna, Cavallo ed altri moltissimi, i cui lavori sarebbe troppo lungo anche accennar soltanto.

Per esser brevi, raccoglieremo in poche proposizioni i principali risultati di codesto ramo di scienza sperimentale. Esse varranno anche a dare di subito una complessiva notizia delle varie condizioni e dei varii atti che intervengono nella produzione di qualsiasi fenomeno elettrico.

Elettromozione meccanica.

§ 306. Prop. 1.^a *Strofinando tra loro due corpi, le cui superficie siano differenti, o per chimica costituzione, o per condizione fisica, all'atto che si separano, manifestano entrambi, e massime nelle parti affacciate, tali reciproche influenze elettriche, per cui oppongono una sensibile resistenza alla separazione, e discostati poi tendono mutuamente a riaccostarsi.*

In questa proposizione si compendiano le seguenti osservazioni:

Osserv. 1.^a *Tutti i corpi hanno la proprietà d'acquistare lo stato elettrico collo strofinio, siano essi solidi, liquidi od aeriformi.*

2.^a *Però alcuni conservano alcun po' di tempo questo stato, massime ove l'aria sia asciutta, non trasmettendolo ad altri che per i punti toccati della loro superficie, e valgono anche a conservarlo in altri corpi, già elettrizzati, che posino su di essi: laonde tali corpi si dicono elettro-coibenti, ed anco isolanti per l'elettricità. Altri corpi invece perdono lo stato elettrico, toccati appena in qualche punto della loro superficie da altro corpo ad essi analogo, talchè a riscontrare nei medesimi lo stato elettrico, bisogna tenerli per mezzo di isolanti: valgono però a propagare immantinente lo stato elettrico da uno ad altro corpo, onde si dicono elettro-conduttori.*

In generale, la varia conduttività elettrica dei corpi va collegata colla loro conduttività relativa per il calore (§ 182).

I metalli ed il carbone compatto sono i corpi meglio elettro-conduttori. Fra i liquidi va rapidamente decrescendo la conduttività nella seguente serie: mercurio, acidi concentrati, acidi diluiti, soluzioni saline, acqua di mare, acqua pura, alcole, etere, oli grassi, oli essenziali, tanto che quest'ultimi si ponno dire elettro-coibenti. Fra i solidi mostrano distinta coibenza il caoutchouc indurito, la gomma

lacca, l'ambra, le resine, il solfo, il vetro verde (senz'ossido di piombo), la seta, la lana, i peli animali. Sono tal poco conduttori i legni non molto secchi, le stoffe di lino e di canapa, la carta, il cuoio; e più ancora riescono deferenti le terre umide ed i tessuti organici animali e vegetali tuttora umorosi. L'aria ed i gas perfettamente secchi sono coibenti.

In tutti i corpi poi la coibenza o la facoltà isolante per l'elettricità è favorita dalla secchezza dell'aria e dalla bassa temperatura. Il vetro rovente, le resine ed il solfo in istato di fusione si rendono tal poco deferenti.

3.^a *L'azione attrattiva, o piuttosto la sollecitazione all'avvicinamento fra il corpo elettrizzato ed i corpi circostanti è reciproca, determinandosi il moto ora nell'uno, or negli altri, secondo che quello o questi incontrano minori resistenze al moto.*

4.^a *Dopo il contatto, spiegasi una reciproca ripellenza (od azione di discostamento) fra il corpo elettrizzato e quello che giunse a toccarlo, ove però entrambi i corpi siano del resto isolati.*

5.^a *Sonvi due diversi stati elettrici con proprietà opposte, i quali, essendosi dapprima riscontrati l'uno nel vetro e l'altro nelle resine, strofinati con pannolano, vennero denominati stato elettrico vitreo e stato elettrico resinoso; ma di poi, più opportunamente, si dissero stato elettro-positivo e stato elettro-negativo. Ed a questi due stati s'ammisero corrispondenti due contrarie forze, dette elettricità positiva ed elettricità negativa (a).*

6.^a *I corpi aventi lo stesso stato elettrico, si respingono mutuamente, mentre si attirano quelli che sono in opposto stato elettrico.*

La osservazione 4.^a è una dipendenza della prima parte di questa proposizione.

Due palline di midollo di sambuco, sostenute separatamente da fili serici, ma poco discoste tra loro, e toccate entrambe o col vetro o colla ceralacca elettrizzati, si respingono mutuamente: laddove mutuamente si attirano, toccando l'una col vetro e l'altra colla ceralacca, similmente strofinati con pannolano.

Diconsi *elettroscopi* i vari stromenti che servono a svelare se un corpo sia o no elettrizzato, ed in quale stato esso sia. I più usati sono: l'*elettroscopio ad ago orizzontale*, equilibrato su d'un perno verticale, sul quale possa facilmente ruotare; l'*elettroscopio a pendolino*, fatto con una pallina di midollo di sambuco, liberamente sostenuta da un

(a) S'avverta però essere arbitrario il considerare positivo o negativo piuttosto uno che l'altro dei detti due stati. Con queste denominazioni s'intende solo di accennare la opposizione nella loro azione, e di fissare il linguaggio per la esposizione e coordinazione dei varii fatti elettrici.

filo serico (fig. 198); l'elettroscopio a due pagliette od a due fogliette d'oro (fig. 199), sostenute parallelamente ed a poca distanza da uno

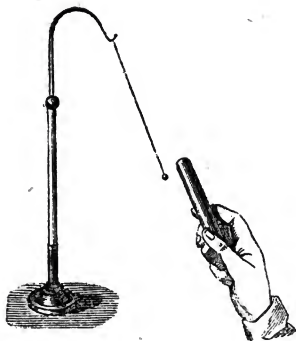


Fig. 198.



Fig. 199.

stesso corpo conduttore isolato, il quale ove acquisti lo stato elettrico le fa divergere l'una dall'altra.

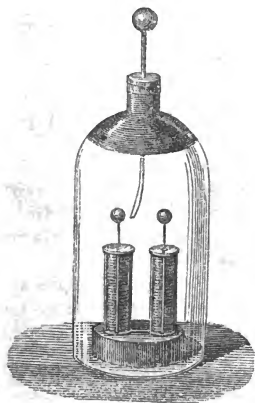


Fig. 200.

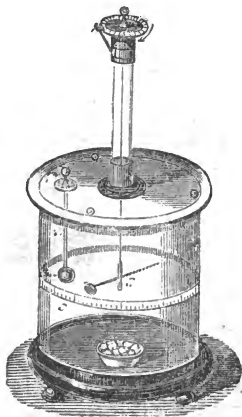


Fig. 201.

Più comodo di questi è l'elettroscopio di Bohnenberger (fig. 200), costituito da una sola foglietta metallica, pendente fra i due elettrodi

opposti di due pile a secco: esso ha i pregi d'esser molto sensibile, e di svelare anche direttamente quale sia lo stato elettrico del corpo accostato al bottone metallico isolato che sostiene la foglietta, secondo che questa fa il suo primo movimento piuttosto verso l'elettrodo positivo che verso il negativo.

Sono pur molto sensibili l'*elettroscopio a torsione* (fig. 201), che

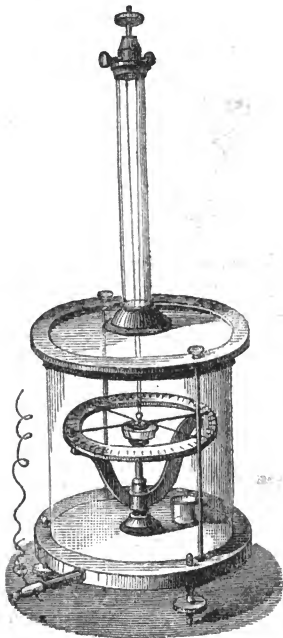


Fig. 202.

fu adoperato da Coulomb in modo analogo alla bilancia di torsione magnetica, e l'*elettroscopio bifilare* di Palmieri (fig. 202).

7.^a Il corpo strofinante, che serve ad eccitare lo stato elettrico in altro corpo (lo strofinato), riesce esso pure elettrizzato, ma sempre in istato opposto a quello di quest'ultimo.

Questo fatto importantissimo si rileva facilmente se i due corpi

che si strofinano tra loro sono entrambi coibenti, e meglio con due dischi metallici, ricoperti da stoffe o da vernici diverse, e muniti di



Fig. 203.

manico isolante, i quali, dopo averli strofinati tra loro, s'avvicinano, l'uno dopo l'altro, all'elettroscopio di Bohnenberger.

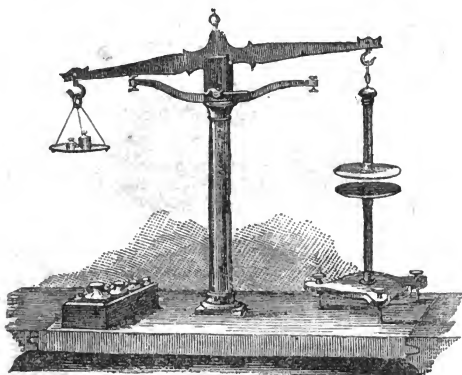


Fig. 204.

Con siffatti dischi si può anche facilmente verificare il mutuo sforzo di avvicinamento de' due corpi così oppostamente elettrizzati (giusta

la Osserv. 6.^a), sospendendo uno di essi al guscio di sensibile bilancia (avendone dianzi equilibrato il peso), e presentando l'altro per disotto e di fronte al primo (fig. 204).

8.^a *Lo stato elettrico assunto dal corpo strofinato dipende non solo dalla sua natura, ma altresì da quella dello strofinante.*

Nella serie seguente ciascun corpo prende lo stato elettro-positivo strofinandolo con quelli che lo seguono, e prende invece lo stato elettro-negativo cogli altri che lo precedono. Ed è più distinto l'elettrizzazione quanto più discosti l'uno dall'altro stanno i due corpi che si strofinano tra loro:

Pelle di gatto, vetro liscio, stoffe di lana, piume, legno secco, carta, seta, gomma lacca, vetro scabro, colofonia, solfo, caoutchouc indurito, guttapercha, metalli e gomma elastica molle.

9.^a *Però lo stato elettrico si dello strofinante, che dello strofinato dipende soltanto dalla natura delle loro parti superficiali che si strofinano, e per nulla dalla natura delle loro parti interne.*

Basta un sottile strato di vernice resinosa od una sottile foglia metallica su di un bastone di vetro, perchè esso dia colla lana la elettricità negativa.

10.^a *Ha pure influenza sullo stato elettrico assunto da un dato corpo il modo dello strofinio.*

Il vetro liscio può prendere due opposti stati elettrici con una pelle di gatto, secondo che lo sfregamento procede a seconda del pelo, oppure a contro pelo. Ad esempio, Volpicelli osservò (1859) che la ceralacca, la gomma lacca e la resina ialappa, sfregate assai leggermente colle dita (coperte da un guanto di lana) prendono lo stato elettro-positivo; mentre sfregandole con forza (come si fa di solito) prendono lo stato elettro-negativo: e si possono successivamente alternarvi i due stati, col variare la forza dello strofinamento.

11.^a *Due corpi eterogenei sempre si elettrizzano ed in opposto stato tra loro, ogniquale volta si sfregano anche leggermente l'un l'altro. Non così accade pei corpi omogenei, i quali, collo strofinarsi, soltanto si scaldano. Però anche due corpi chimicamente identici, strofinati tra loro, ponno elettrizzarsi quando le loro superficie si trovino in condizioni fisiche differenti.*

Così accade se differisce notevolmente la loro temperatura od il grado di levigatezza della loro superficie, o se l'una viene strofinata per un'estensione maggiore dell'altra. In generale, prende lo stato elettro-negativo quella superficie che riesce più calda o colle molecole maggiormente smosse.

Nel caso di superficie omogenee ed identiche, il lavoro di strofinio si converte in calore.

Le osservazioni fin qui esposte servono a dichiarare nelle varie

sue parti la tesi generale prenunziata a pag. 515. Ma quella proposizione non esprime ancor tutte le condizioni fondamentali dell'elettizzazione per istrofinio, e d'altronde include altre osservazioni, come or ora si vedrà.

12.^a Dicesi *carica elettrica* d'un corpo la quantità di elettricità (valutata semplicemente come una quantità di energia delle sue molecole) che in esso si manifesta operativa, cioè in istato di tensione. Chiamasi poi *tensione elettrica* lo sforzo col quale un corpo od una sua parte tende a neutralizzare coi corpi circostanti la propria carica elettrica. E dicesi *capacità elettrica* d'un corpo la sua attitudine a ricevere una data carica, desunta dal rapporto fra la carica q trasmessagli e la tensione media t che esso manifesta, cioè si ritiene la capacità c espressa dalla:

$$c = \frac{q}{t}$$

La tensione elettrica può anche ritenersi commisurata alla mutua ripellenza manifestata dalle parti di un corpo o di un insieme di corpi aventi un medesimo stato elettrico, ed allora la si può argomentare o dalla divergenza tra le pagliette d'un elettrometro a pendolo con arco graduato, oppure dalla distanza per cui scocca la scintilla fra il corpo stesso ed un conduttore comunicante col suolo, per mezzo d'uno spinterometro.

Volta, che molto s'occupò d'elettrometria, prendeva per unità fondamentale la tensione corrispondente alla scarica esplosiva fra due sferette di un pollice (mm. 27) di diametro e discoste di due linee (mm. 4,5), colle loro superficie affacciate. Costituiva poi un elettrometro a quadrante col pendolo così proporzionato, da segnare una deviazione di 20° in corrispondenza alla detta tensione unitaria. Fra 15° e 25° le deviazioni di codesto elettrometro si ponno ritenere proporzionali alle tensioni. Inferiormente ed al di là di tali limiti le tensioni crescono con più rapida ragione che gli angoli di deviazione.

Per le minori tensioni costituiva due elettrometri a pagliette muriti di archi graduati, per modo che nell'uno la deviazione di 16° corrispondesse a 4° corretti dell'elettrometro a quadrante, e nell'altro più sensibile la stessa deviazione di 16° corrispondesse ad un solo grado corretto del medesimo elettrometro a quadrante.

13.^a *Le due opposte cariche elettriche provocate in due corpi col loro mutuo strofinio* (Osserv. 7.^a) *sono tra esse uguali in quantità, cosicchè si neutralizzano completamente l'una coll'altra.*

Ciò facilmente si riconosce strofinando tra loro due dischi eterogenei, come nell'or citata osservazione, poichè, accostandoli insieme

ad uno squisito elettroscopio di Bohnenberger, non danno alcun segno elettrico; mentre, separandoli, ciascuno accenna la propria carica.

Operando colla bilancia, siccome si disse nella stessa Osserv. 7.^a, si riconosce più facilmente esser eguale lo sforzo con cui ciascuno di essi tende ad avvicinarsi all'altro.

Si può riconoscere questo principio anche coll' *elettromotore a strofinto* di Nairne. Un grosso tubo cilindrico di vetro, ruotando attorno

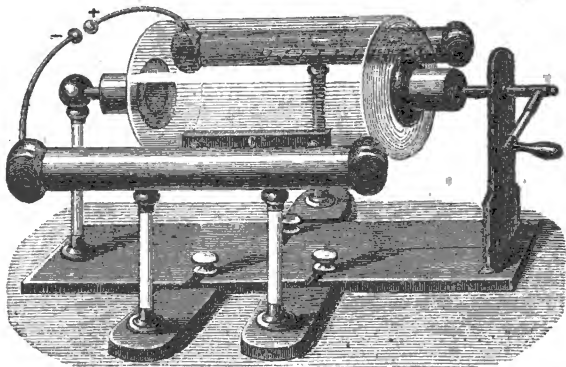


Fig. 205.

al suo asse, da una banda si stropiccia contro un cuscinetto di cuojo imbottito di crine, spalmato alla superficie di un amalgama di zinco e portato da un cilindro metallico orizzontale, e dall'altra banda, in opposizione diametricale del cuscino, evvi una serie lineare di punte metalliche, portate da altro cilindro metallico simile. Questi due cilindri, al pari del tubo vitreo, sono sorretti da bastoncini di vetro verniciato alla gomma lacca: son chiamati *conduttori* (e meglio si direbbero *elettrodi*), e sono in opposta tensione, negativa cioè quello che porta il cuscino, e positiva l'altro colle punte volte al vetro.

Ora, se questi elettrodi, mediante un grosso filo metallico coperto di gomma (detto *reoforo*), si collegano con due dischi affacciati ed isolati, uno de' quali sia portato da bilancia dinamometrica, si potrà misurare la trazione fra i due dischi, e riconoscerla reciproca e pressoché eguale, scambiando da una ad altra prova il reoforo collegato col disco mobile (fig. 206).

Si può anche mettere in evidenza questo stato di cose, collegando

i due elettrodi della macchina Nairne, a mezzo de' reofori, con uno *spinterometro*. Due cilindretti metallici, muniti agli estremi di palle metalliche d'egual diametro, son portati da due bastoni di vetro e ponno essere accostati o scostati fra loro, scorrendo essi attraverso una grossa palla di sostegno, la quale porta anche un elettroscopio a quadrante (fig. 207).

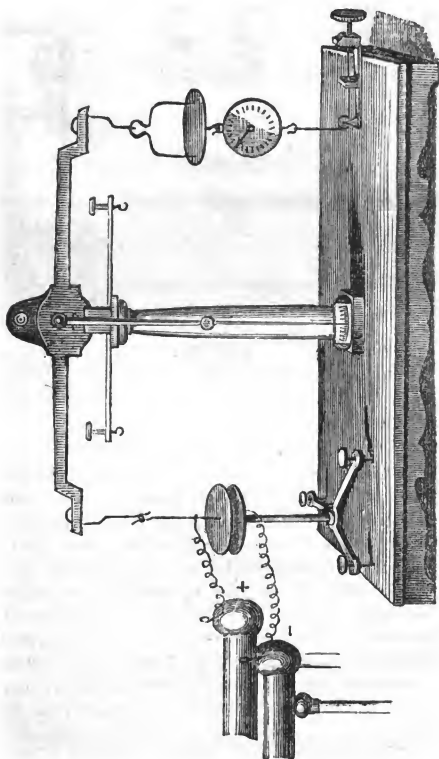


Fig. 206.

Di tal modo è facile riconoscere che, appena s'incominci a muovere lentamente il cilindro, si mettono in moto entrambi gli elet-

troscopi, crescendo man mano la lor divergenza, e se son d'egual sensibilità, segnano gradi pressochè eguali, innanzi che scocchi la

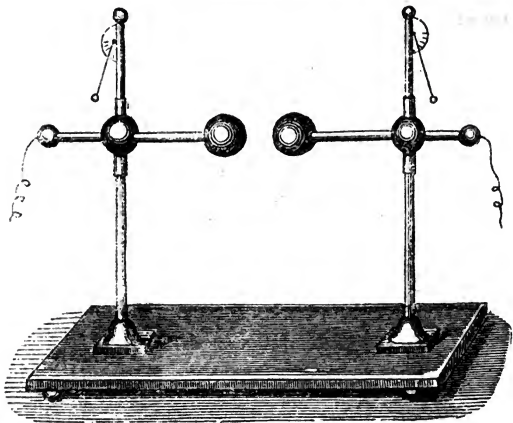


Fig. 207.

scintilla tra le due palle. E la tensione varia egualmente, pur variando la distanza tra queste.

Si può ancor riconoscere che, ponendo in comunicazione col suolo l'uno o l'altro elettrodo, cresce bensì la tensione nell'altro, ma non tanto da esser doppia di prima, risultando diminuita la distanza limite pel salto della scintilla tra le due palle, oppure diminuito il numero delle scintille scoccanti in un dato tempo fra le palle mantenute ad una data distanza. In queste prove convien però serbar possibilmente costante la velocità di rotazione del cilindro vitreo (a).

14.^a Col predetto spinterometro riesce pur agevole il dichiarare che debbasi intendere per corrente elettrica e come essa si ottenga pure coll'impiego d'una macchina a strofinio, od a meglio dire con un *elettromotore meccanico*. Infatti, lasciando che i due conduttori della macchina comunichino, rispettivamente, coi due bracci dello

(a) Per queste macchine non è dunque utile il far comunicare col suolo uno degli elettrodi, almeno rispetto alla quantità d'azione elettrica da esse ottenibile. Vedi *Sperienze d'elettrologia* nei *Rendiconti* del R. Istituto Lombardo, aprile 1869.

spinterometro, ed accostando grado a grado le due palle mediane, si osserva che mentre va scemando la tensione (data dagli elettroscopj a quadrante) col diminuire della lunghezza delle scintille, aumenta il numero di esse che scoccano in un dato tempo fra le palle stesse.

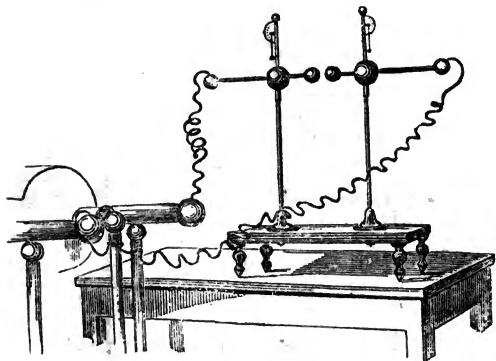


Fig. 208.

Ora, riducendo minima la distanza tra queste, le scintillette rendono così numerose e rapide, da apparire all'udito uno schioppettio od un sibilo continuo, ed alla vista un continuo filetto di luce: epperò *ancor quando le palle saranno ridotte a contatto, e cesserà ogni segno sensibile di scarica elettrica e di tensione, deve tuttavia accadere fra tutte le parti dell'arco conduttivo (elettrodi, reofori, spinterometro) una serie rapidissima di scariche a tensione estremamente debole, che appunto chiamasi CORRENTE ELETTRICA, purchè si continui nel lavoro di strofinio col ruotare del cilindro.*

Questa deduzione apparirà ancor più chiara colla seguente sperienza.

Frammezzo alle sfere d'uno spinterometro si disponga una serie di palle d'avorio di egual diametro, sostenute da fili serici, così che i loro centri sieno nella stessa retta dei centri delle sfere spinterometriche, e che le rispettive loro distanze sieno eguali. Congiungendo i capi dello spinterometro cogli elettrodi della macchina a mezzo di reofori, e mettendo in moto il cilindro, si vedrà ben tosto mettersi in moto anche tutte codeste palle, ciascuna delle quali apparirà alternativamente attratta e poi respinta da quelle che le stanno ai lati (fig. 209). E la velocità di siffatte oscillazioni andrà crescendo o scemando coll'aumentare o col diminuire della velocità di rotazione del cilindro.

Col diminuir poi più e più la preesistente distanza fra le palle, si vedrà andar crescendo la velocità dei loro alternativi moti di avvicinamento e discostamento reciproco, analogamente a quanto si disse

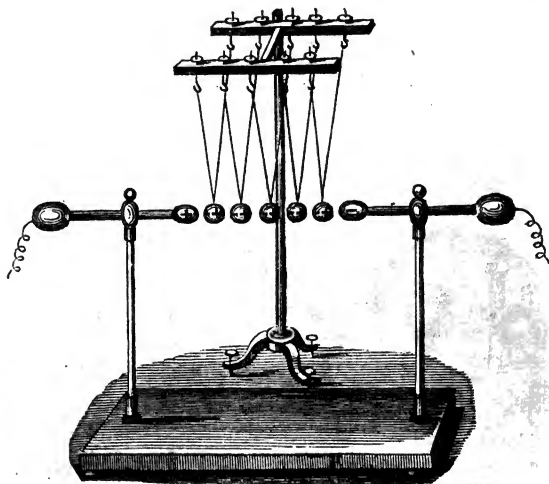


Fig. 209.

testè pel numero delle scintille avute in un dato tempo col diminuire grado grado la distanza fra le palle spinterometriche, pur serbata costante la velocità nel cilindro elettromotore.

Codesti moti vibratorj delle palle elastiche, che entrano a far parte del circuito, ci manifestano una successiva azione induttrice esercitantesi fra le parti prospicienti delle palle stesse, le quali, giusta quanto si dirà nell' Osserv. seguente, provocano la attrazione scambievole delle parti medesime.

15.^a Un' altra esperienza giova a schiarire questo concetto della energia elettrica, che può manifestarsi in un circuito chiuso.

Si faccian comunicare tra loro le sfere spinterometriche per mezzo di un sottilissimo filo di ferro o meglio di platino, avvolto a forma di spirale cilindrica attorno alla superficie del serbatoio, pure cilindrico, di uno squisito termometro a mercurio, convenientemente sostenuto da un filo di seta (fig. 210). Movendo con rapidità il cilindro

dell'elettromotore, dopo qualche po' di tempo si rileverà nel termometro un aumento nella temperatura rispetto a quella dapprima notata; e questo aumento sarà tanto maggiore quanto più veloce si ruoterà il cilindro.

In questo modo si rende manifesta l'efficacia della corrente pro-

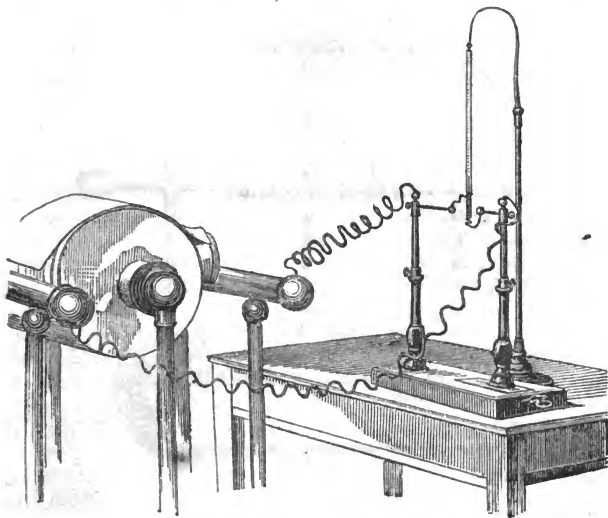


Fig. 210.

vocata dall'elettromotore meccanico con una azione termica in quelle parti del circuito dove, per l'esiguità della sezione e per la scarsa conduttività della materia, la corrente stessa (cioè tal forma di moto elettrico intestino) incontra una maggior resistenza.

Ma la più diretta prova, che un elettromotore a strofinio possa far luogo ad una vera corrente elettrica, è data dalla seguente esperienza. Abbiasi un galvanometro a filo molto lungo e sottile; se ne congiungano i due capi coi due elettrodi della macchina mercè due sottili reofori, e si mantenga poi per alcun tempo in moto rapido ma equabile l'elettromotore meccanico. Allora si ha nell'ago del galvanometro una deviazione, bensì piccola e dapprima variabile con forti oscillazioni, ma che presto riducesi ad apparire costante. Il verso di questa deviazione s' invertirà collo scambiare le congiunzioni

dei due elettrodi coi due capi del filo galvanometrico, incrociando i reofori. E la grandezza relativa della deviazione può dare un indizio della forza elettromotrice relativa delle varie macchine.

Ipotesi.

§ 307. Ad interpretare e collegare tra loro in qualche modo i fenomeni elettrici sin qui esposti e gli altri, di cui avanti si dirà, Franklin, e poscia Beccaria, Epino e Volta venner formulando la seguente teoria. Si suppone: *a*) che un fluido sottilissimo, imponderabile, detto *elettrico*, investa tutti i corpi; *b*) che le sue molecole esercitino tra loro una mutua ripellenza; *c*) che sussista una vicendevole attrazione fra tali molecole e quelle della materia grave; *d*) che quest'ultime, alla lor volta, esercitino pure una reciproca ripulsione tra loro; *e*) che, quando un corpo non dà segni elettrici, contenga tal quantità di fluido elettrico da riuscire in esso in equilibrio l'insieme delle dette forze; *f*) che però tal dose naturale di elettrico varii da corpo a corpo, a parità di volume, secondo la natura chimica ed il modo d'aggruppamento delle sue molecole, sicché in alcuni corpi codesto fluido abbia maggior densità che in altri; *g*) che poi, strofinando tra loro due diversi corpi, si turbi in entrambi l'equilibrio delle dette forze, talché, separandoli rapidamente, l'uno trae seco una dose di fluido maggiore della sua naturale e riesce elettrizzato in più, l'altro ne perde una porzione e riesce elettrizzato in meno.

Symmer, e poscia Coulomb e Poisson congetturarono altrimenti. Supposero: *a*) che sussistano in ogni corpo due diversi fluidi elettrici, l'uno denominato *positivo*, *negativo* l'altro; *b*) che le molecole del fluido positivo esercitino tra loro una mutua ripulsione; *c*) che lo stesso facciano le molecole del fluido negativo tra di loro; *d*) che invece sussista una reciproca attrazione fra le molecole dell'uno e quelle dell'altro fluido; *e*) che poi entrambi codesti fluidi siano attirati ed attirino le molecole della materia grave, ma con varia energia pei diversi corpi; *f*) che però un corpo risulti in istato naturale (non elettrizzato) quando in esso siavi tal quantità dell'un fluido e dell'altro che si equilibrino le varie azioni attrattive e ripulsive anzidette; *g*) che collo strofinio di due diversi corpi l'uno riceva un eccesso dell'un fluido e l'altro dell'altro, sicché, separandoli, si manifestano l'uno elettrizzato positivamente e negativamente l'altro.

Codeste ipotesi ebber corso sinora nella scienza, sembrando per esse facilitata la esposizione dei fenomeni. Ma in realtà, a noi pare, esse non fanno che ripetere con immagini vaghe i particolari di fatto. Val meglio procurare, per quanto è possibile, di descrivere i fenom-

meni quali direttamente ci si manifestano, e quindi considerare l'elettricità come una speciale forma di moto nelle molecole, o piuttosto nei gruppi secondari di molecole costituenti i corpi; riguardare i due stati elettrici opposti come l'atto di due forze opposte ed eguali, a modo dell'azione e reazione nei fenomeni di elasticità; e ritenere la conduttività o la coibenza elettrica come semplice espressione della varia attitudine dei singoli corpi alla propagazione di tal moto molecolare nel loro interno, a guisa della varia attitudine dei corpi elastici e dei corpi molli alla trasmissione del suono. E così facciamo in questi *Elementi*.

Induzione elettrostatica.

§ 308. Prop. II. *Un corpo elettrizzato, avvolto da un coibente omogeneo o da diversi coibenti, provocando in questi una polarizzazione molecolare tutt'all'intorno di sè, può produrre la polarità elettrica in un conduttore isolato, anche discosto, e sempre poi promuovere nelle parti del coibente che toccano la superficie di questo una tensione opposta ed equivalente alla sua.*

Ancor questa proposizione comprende in sè buon numero di speciali osservazioni, delle quali esponiamo qui le più importanti.

16.^a *Un conduttore isolato, trovandosi a poca distanza da un corpo elettrizzato, da esso pure segni elettrici; i quali però accennano d'essere collegati collo stato elettrico dell'altro, talchè scompaiono, sia trasportando assai discosto il conduttore, sia scaricando il corpo elettrizzato. Codesto fenomeno dicesi induzione elettrica, e denominasi induttore il corpo elettrizzato, ed indotto il conduttore che ne subisce l'influenza.*

Ma nel fenomeno stesso va notata una condizione assai importante: i segni elettrici nel corpo indotto non sono tutti nè di eguale intensità, nè di egual natura. *Le parti della sua superficie più vicine ed affacciate all'induttore manifestano uno stato elettrico contrario a quello dell'induttore stesso; le parti opposte e più lontane da questo si mostrano, e più distintamente, elettrizzate in egual modo; discostandosi da tali estremi, le contrarie tensioni vanno rapidamente diminuendo, sino a ridursi insensibili in una zona intermedia ma sempre più vicina all'estremo prospiciente l'induttore che non all'altro.* Laonde il corpo indotto, presentando, nell'insieme della sua superficie, i due opposti stati elettrici separati da una linea neutra, vien detto *polarizzato elettricamente* per induzione.

Occorrendo distinguere le due elettricità così provocate nell'in-

dotto, si può, per brevità di discorso, chiamare col Belli *indotta* la elettricità eteronima che si manifesta nelle parti più prossime, ed *attuata* la elettricità delle parti lontane, omonima all'induttrice.

Questo stato di cose si può render manifesto in più modi. Basti accennarne alcuni.

a) Abbiasi una sfera conduttrice isolata, fortemente elettrizzata in +, ed a qualche centimetro di distanza si disponga un cilindro metallico, pure isolato, il cui asse orizzontale passi pel centro della sfera. Toccando successivamente gli estremi del cilindro con una pallina

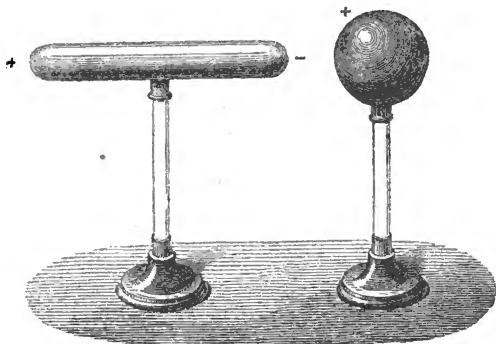


Fig. 211.

esploratoria (una piccolissima pallina metallica fissata all'estremo d'una verghetta sottilissima di ceralacca o di ebanite), ed accostando poi questa pallina all'elettroscopio Bohnenberger (Osserv. 6.^a), la si troverà elettrizzata in — quando siasi toccato l'estremo del cilindro vicino alla sfera, ed elettrizzata in + quando siasi toccato l'estremo lontano (a).

b) Ma si può far a meno della pallina, qualora si adoperi un cilindro divisibile in due cilindri, portato ciascuno da un proprio baston-

(a) Benchè il Melloni ed il Volpicelli abbiano sostenuto che questo modo di prova colla pallina esploratoria sia dubbioso, ritenendo essi che l'elettricità indotta eteronima (quella delle parti vicine all'induttore) non eserciti tensione, volli tuttavia ricordar qui anche questa prova, avendo altrove dimostrato non essere attendibile la teoria del Melloni (*Di una pretesa riforma della teoria dell' induzione*. Rend. dell' Ist. Lomb. lugl. 1875). Altre prove importanti hanno date il prof. Pisati ed il Giovi in opposizione alla dottrina del Volpicelli.

cino isolante, e tosto dopo, staccandoli rapidamente e presentandoli separatamente all'elettroscopio, si mostrerà in istato $+$ il cilindro che era lontano, ed in istato $-$ quello che era vicino alla sfera. Però, facendoli subito toccare l'un l'altro, il loro insieme non darà più alcun segno all'elettroscopio (a). Invece dei due cilindri si ponno usare due sfere conduttrici, similmente isolate.

c) Per veder poi la differente tensione elettrica nelle varie parti della superficie indotta giova quest'altra esperienza.

Al di sopra d'un disco di gomma indurita, fortemente elettrizzata in $-$, si presenti un cilindro metallico, tenuto con manico isolante in direzione verticale, e munito in punti tra loro equidistanti di leggieri pendolini. Il medianò di questi non devierà sensibilmente: mentre, procedendo verso i due estremi del cilindro, andrà man mano aumentando la divergenza dei due pendolini. Che poi dalle due bande della linea neutra le tensioni elettriche siano di natura opposta, cioè in istato $+$ pendolini più vicini all'induttore, ed in istato $-$ i più discosti, lo si riconosce accostando lentamente ad essi una verghetta di ceralacca strofinata, poichè i primi aumenteranno la lor divergenza e gli altri invece la scemeranno.

d) Ma questa dimostrazione si fa più spiccia ed evidente in questo altro modo. Una sfera isolata ed elettrizzata in $+$ è posta a poca distanza d'un cilindro metallico pure isolato, e con apposito soffietto si proietta lungo la superficie di questo una mistura di solfo e minio in polvere fina (b). La parte del cilindro vicina alla sfera si colorerà in rosso, l'altra in

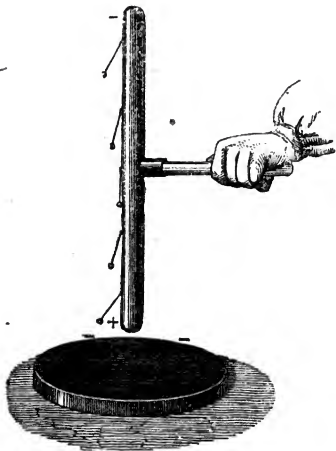


Fig. 212.

(a) Questa importante esperienza venne già eseguita da Wilke.

(b) Le due polveri, mercè il mutuo loro strofinio, nell'atto che escono dal soffietto, si elettrizzano entrambe, il minio positivamente ed il solfo negativamente. Perciò il minio è attratto dalle parti della superficie che sono in tensione $-$, ed il solfo dalle parti che sono in istato $+$.

giallo: e verso gli estremi la polve aderirà assai più fitta che non faccia procedendo verso il mezzo, dove non si avrà alcun coloramento.

e) Già questo fatto manifesta l'analogia tra l'induzione magnetica (§ 297. 7.^a) e la induzione elettrica. Ma questa analogia appar meglio, disponendo parecchi cilindretti conduttori isolati coi loro assi allineati e cogli estremi affacciati tal poco discosti, e collocando a poca distanza da una estremità di tal serie un corpo elettrizzato a medio-

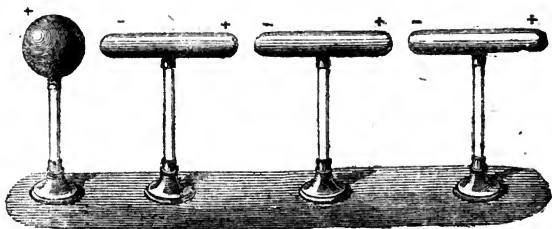


Fig. 213.

cre tensione; poichè tutti que' cilindri si mostrano polarizzati: cioè tutti gli estremi di essi rivolti all'induttore offrono l'elettricità omonima, e quindi gli estremi affacciati di due consecutivi cilindri presentano gli opposti stati elettrici. E ciò ancora si rileva facilmente, soffiando su questi cilindri il predetto miscuglio di polveri, poichè ciascun d'essi offrirà i due colori, e saranno opposti i colori degli estremi affacciati di due successivi cilindri.

Da qui appar chiaro quanto s'è detto nella osserv. 14.^a, che cioè le palle conduttrici isolate ed allineate frammezzo alle palle spinterometriche, si moveranno alternativamente or accostandosi ed or discostandosi da ciascuna delle palle laterali, essendo tutte colle loro faccie in istato elettrico opposto, per induzione successiva.

Nell'eseguire queste esperienze bisogna badare che l'inducente non abbia molta tensione, che l'aria sia ben secca, e che l'indotto sia isolato per bene, all'uopo di evitare tanto ogni diretta comunicazione elettrica tra i due corpi, quanto un elettrizzamento permanente nell'indotto per comunicazione col suolo, giusta la osserv. seguente.

17.^a Dalla esperienza b) esposta nella osserv. precedente consegue chiaramente che, ove si faccia comunicare il conduttore isolato che subisce l'induzione con altro conduttore isolato che poi si ritira, s'avranno nell'indotto risultanze diverse secondo la figura, le dimensioni e la disposizione della superficie toccante.

Se questa sarà piccola e raccolta, come in una sfera di piccol rag-

gio, la cui superficie sia di molto minore a quella del cilindro indotto, questo rimarrà in uno stato elettrico opposto, secondo che la sfera lo avrà toccato in un punto prossimo oppur remoto della sua superficie.

Se invece il corpo toccante avrà una superficie molto maggiore di quella dell'indotto, e se tal superficie, per la propria figura o per la sua disposizione, rimarrà in gran parte più remota dall'induttore che nol sia la superficie dell'indotto, questo — ritirato il corpo toccante e poi scaricato l'induttore — lo si troverà sempre in istato elettrico opposto, qualunque poi sia la situazione del punto superficiale toccato. Ora questo risultato dovrà, a maggior ragione, aversi sempre, quando si faccia comunicare l'indotto, per qualsiasi modo, col suolo, la cui capacità elettrica e la cui distanza dall'induttore saranno grandemente maggiori di quelle dell'indotto. Quindi accadrà che:

Un conduttore isolato, sotto l'influenza d'un corpo elettrizzato, acquista uno stato elettrico permanente ed opposto, facendolo comunicare, anche solo per un istante, col suolo, ed interrompendo tale comunicazione.

Questo fatto può agevolmente verificarsi e colle palline esploratorie, e cogli elettroscopi, e colle polveri, procedendo come s'indicò nell'osserv. 16.^a

18.^a Anzi qui viene opportuno richiamare l'esperienza c) ivi esposta. Poichè facendo comunicare col suolo un punto qualunque del cilindro indotto (fig. 212), sia esso il più remoto, sia anche il più vicino all'induttore, si vedrà cessare la divergenza dei pendolini che sono in tensione omonima e persistere invece, anzi aumentare alcun po' la divergenza nei pendolini in tensione opposta a quella dell'induttore. Quindi *un corpo conduttore, benchè comunicante col suolo, si manterrà elettrizzato per induzione nelle parti prossime all'induttore.* Lo stesso fatto si riconosce colla proiezione delle polveri.

19.^a *L'induzione elettrica si verifica ancorchè fra l'inducente e l'indotto s'interponga una lastra coibente; e la si svingorisce o la si inverte, interponendo una lastra conduttrice, comunicante col suolo.*

Il caso dell'interposizione d'una lamina conduttrice merita considerazione, secondo che avvertì il Pisati. Giacchè giusta l'osserv. 17.^a, essa assumerà e manterrà lo stato elettrico opposto all'induttore, ed eserciterà, quindi alla sua volta, un'azione induttrice opposta sui corpi situati al di là di essa, cioè dalla banda opposta dell'induttore. Però, mano mano questi corpi staranno più discosti dalla lamina stessa, s'affievolirà l'induzione di questa sino ad annullarsi e quindi si mostrerà prevalente l'azione dell'induttore primo (a). E ciò

(a) Pisati, *Ricerche sperimentali sull' induzione elettro-statica.* Palermo 1876.

in analogia a quanto osservò lo stesso Pisati per l'induzione magnetica (pag. 490).

20.^a I predetti fenomeni d' induzione valgono ad interpretare l'uso degli elettroscopi e dei dischetti d' assaggio per riconoscere se un corpo sia elettrizzato ed in quale stato esso sia.



Fig. 214.

Negli elettroscopi le fogliette o pagliette divergeranno per elettricità attuata, cioè omonima a quella dell'induttore, col semplice accostamento; e divergeranno per elettricità indotta, cioè eteronima, se si toccherà l'elettroscopio durante l'induzione.

I dischetti conduttori, applicati ai corpi elettrizzati, toccati col dito e poi ritirati coll'annessa verghetta isolante, acquisteranno sempre elettricità indotta, cioè eteronima.

Polarizzazione dei coibenti.

21.^a *Nell'atto stesso che due corpi fra loro strofinati si mostrano elettrizzati in opposizione, ciascun d'essi risulta altresì POLARIZZATO.*

Dalle osservazioni 7.^a, 8.^a e 9.^a risulta essere sempre opposti gli stati elettrici di due superficie eterogenee che si stropicciano fra loro. Dobbiamo ora aggiungere che, se una di queste è costituita da una lamina coibente sottile, essa manifesterà ad un tempo nella sua faccia non istrofinata uno stato elettrico opposto a quello assunto nell'altra, e quindi omonimo a quello della superficie strofinante.

Prendansi, ad esempio, due dischi metallici muniti di bastoncini isolanti di ebanite: su la superficie dell'uno siasi applicato uno strato sottile di ceralacca fusa, su l'altra una lamina sottile di gomma elastica. Sfregando poi tra loro la ceralacca colla gomma e presentandole separate all'elettroscopio, la prima eserciterà un'induzione $+$, e l'altra un'induzione $-$ (fig. 203 a pag. 519).

Però, toccando col dito le posteriori facce metalliche, sicchè comunichino col suolo, i dischi non daranno più alcun segno elettrico. Nondimeno i due corpi coibenti saranno ancora elettrizzati. Infatti, posando le lor faccie strofinate sul tavolo o su un piano conduttore

non isolato, e toccando col dito le loro superiori facce metalliche, indi sollevati i dischi e presentatili all'elettroscopio daranno ancora i segni elettrici di prima, cioè $+$ ^o la ceralacca e $-$ ^o la gomma.

Se invece si applicano su le facce strofinate due dischetti metallici muniti di manico coibente e mentre son posati si toccan col dito, indi li si sollevano, offrirà un segno $-$ ^o quello che tocca la cera lacca, e l'altro che toccò la gomma darà un segno $+$ ^o.

Ora, poichè tanto i primi quanto questi segni furono provocati per induzione nei conduttori affacciati e comunicanti col suolo, conviene inferirne, giusta l'osserv. 17^a, che la faccia interna della ceralacca sia $-$ ^a e l'esterna $+$ ^a, e che l'interna della gomma sia $+$ ^a e l'esterna $-$ ^a.

Dunque ciascuno di questi coibenti che si sono tra loro elettrizzati col mutuo strofinio ponno dirsi polarizzati, offrendo due stati elettrici opposti nelle loro due facce.

E questa loro polarizzazione è duratura, giacchè, se ancora si scaricano, col toccare i dischi metallici mentre son separati, poscia si ripongono a contatto fra loro e con un archetto metallico, ancorchè isolato, si fanno comunicare fra loro i due dischi metallici, separandoli di nuovo, manifesteranno ancora distinti gli opposti segni elettrici come precedentemente: e questi potranno farsi cessare e riprodurre più e più volte di seguito, ripetendo i maneggi testè indicati.

Analoghi risultati si otterranno prendendo una lamina molto sottile di ebanite affatto libera, strofinandone fortemente una faccia, stando l'altra isolata, indi collocandola framezzo a due dischetti metallici, tra i quali si farà arco come testè. Ritirando i dischetti pei loro manichi isolatori, pur gittando lungi la lamina coibente, si troveranno entrambi elettrizzati: però sarà $+$ ^o quello che tocca la faccia sfregata, e $-$ ^o l'altro, a prova delle opposte elettricità induttrici delle due faccie della lamina stessa.

22.^a Le lamine coibenti presentano fenomeni analoghi, dopo che furono elettrizzate col mezzo d'una macchina a strofinio.

Si disponga una lamina di ebanite tra i due dischi dell'apparecchio indicato nell'osserv. 13.^a (fig. 206), e si facciano uno o due giri del cilindro elettromotore. Il disco mobile superiore, non solo sarà attratto, ma aderirà fortemente alla faccia del coibente, tanto che a staccarnelo, occorrerà esercitare una rilevante tensione con un sensibile dinamometro ad elastro piano, applicato all'altro guscio della bilancia, girando la vite di trazione del filo annesso. Ritirando poi la lamina da que' dischi, ed applicati alle sue faccie due dischetti d'esplorazione (simili a quelli indicati nell'osserv. preced.), col far arco tra questi, s'avrà una scintilla, e staccando cantamente i dischetti stessi, si riconoscerà all'elettroscopio che questi sono op-

postamente elettrizzati tra loro. Anzi, scaricati, ripostili a contatto del coibente e fatto arco di nuovo, risulteranno ancora col successivo distacco oppostamente elettrizzati. E così accadrà, ripetendo le tante volte questi contatti e distacchi dei dischetti.

Devesi quindi inferire che *le due facce di codesta lamina coibente siano oppostamente elettrizzate in modo permanente, e provochino contrarie cariche* (Osserv. 16.^a) *nei conduttori ad esse applicati, perciò per induzione nell'atto in cui si fa arco conduttivo tra loro.*

Similmente, se fra i predetti dischi della fig. 206 si porranno tre o quattro sottili lamine di ebanite, di egual natura e grossezza, e si caricheranno con due o tre giri del cilindro, si manifesterà ancora l'aderenza, come poc'anzi. Ritirando poi queste lamine ed esplorandole, una ad una, coi due dischetti come or si disse, si riconoscerà che *ciascuna è polarizzata*, cioè tutte esercitano opposte induzioni elettriche colle loro due facce, e che *questa loro polarizzazione è concorde*, nel senso che si succedono, con regolare alternanza, una faccia positiva ad altra negativa, ritenuta la disposizione che esse avevano nell'atto dell'elettrizzazione colla macchina.

23.^a *Il fatto della induzione elettrica precede sempre e provoca l'attrazione elettrica.*

Come si polarizza il ferro quand'è attratto da un polo magnetico, così si polarizza elettricamente qualunque corpo venga attratto da altro corpo elettrizzato: giacchè la parte di esso che è rivolta all'induttore assume lo stato elettrico contrario, e quindi, secondo la osserv. 16.^a, si eserciterà fra i due corpi una reciproca attrazione. Quando però il corpo indotto tocchi l'elettrizzato, piglierà una porzione della sua carica, e così, ridotti in egual stato elettrico, i due corpi si respingeranno mutuamente, se non v'ha estrinseca resistenza.

24.^a *Anche i fenomeni fondamentali delle attrazioni e ripulsioni elettriche* (Osserv. 6.^a) *vanno riguardati quali dipendenze della polarizzazione del coibente interposto.*

Così la mutua ripulsione tra i corpi similmente elettrizzati è soltanto apparente, poichè sulle loro parti poste a fronte riesce nulla o ben debòle la tensione elettrica svolta per induzione nei corpi circostanti, mercè la polarizzazione dell'aria o del mezzo interposto.

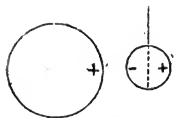


Fig. 215.

Ed anche l'attrazione fra due corpi in opposto stato elettrico s'interpreta mercè la tensione polare dell'aria interposta, che è provocata dalla reciproca induzione degli stessi due corpi, per cui nelle loro parti affacciate s'accresce l'opposta tensione elettrica, siccome emerge dalla seguente osservazione (fig. 215).

25.^a *La quantità d'elettricità che si promuove, per induzione, tutt' all'intorno d' un corpo elettrizzato è sempre equivalente a quella sussistente in istato di tensione nell' induttore stesso.*

Questo importante principio venne dimostrato per molte prove da Faraday. Eccone alcune. Una sfera cava metallica isolata abbia in alto un pertugio piuttosto piccolo, e comunichi esteriormente con un elettrometro sensibile e ben isolato; s' introduca nel di lei cavo una pallina, sorretta da un filo isolante ed elettrizzata con una data carica, evitando ogni contatto colla parete metallica; giunta che sia verso il centro della cavità, si manifesterà, per mera induzione, una deviazione elettrometrica eguale (se l'aria è ben secca) a quella che si produce toccando di poi direttamente la interna od esterna parete metallica colla pallina avente la stessa carica.

Analogo risultato ottiensi con un vaso metallico cilindrico, la cui altezza sia molto maggiore del diametro, e che sia pure isolato e comunicante con un buon elettrometro. La tensione da questo accennata mantienesi costante, qualunque sia la posizione della pallina elettrizzata rispetto al fondo ed ai lati del vaso, purchè essa stia approfondata al disotto dell'apertura di questo d'una quantità maggiore del suo raggio, e quand'anco si adduca la palla in contatto di qualche parte dell'interna parete del vaso. E se anche, in luogo di un solo vaso, se ne prendono quattro, in tal misura da poter stare l'uno entro l'altro, separati nel fondo da un disco di gomma lacca e lateralmente da uno strato d'aria, e ritenuto ancora che l' esteriore sia isolato e munito d' elettrometro, introducendo nel vaso centrale la stessa palla con una carica eguale alla precedente, riuscirà pur eguale l'indicazione elettrometrica, come operando col solo vaso esterno.

Pertanto una determinata carica elettrica può riguardarsi quale una forza definita, suscettibile d'agire in distanza per induzione, attraverso una serie di mezzi coibenti o deferenti isolati, e la cui totale azione riesce invariabile, qualunque sia la loro rispettiva disposizione.

Potere induttivo dei coibenti.

26.^a *La induzione elettrica fra due conduttori isolati sembra dovuta alla polarizzazione del coibente interposto.* Nel più dei casi è l'aria atmosferica che, polarizzandosi, trasmette l'induzione.

Questo principio trova già un appoggio nella precedente osservazione 16.^a Però Faraday e Matteucci lo dimostrarono con molte e svariate sperienze. Ne citeremo solo alcune.

In un vaso di vetro penetrino per due opposti punti delle sue pareti due verghe metalliche, munite alle loro estremità, abbastanza discoste, d'una pallina pure metallica; comunichi ciascuna di esse, a

mezzo d'un reoforo, con uno degli elettrodi isolati d'una macchina; si versi entro terebenteno, sino a ricoprirne le anzidette parti metalliche, e nel liquido si gettino molti corti e sottili minuzzoli di filo serico tagliuzzato. Questi, non appena si provochino gli opposti stati elettrici ne' conduttori della macchina, accorrono da tutte parti verso le verghette e le palline, e, dopo brevi trepidazioni, si allineano, riunendosi coi rispettivi estremi, si da formare tra le due palline una specie di catena. E questa, finché dura l'azione elettrica, mostra tra le sue parti una sensibile aderenza, qualora si tenti di disgiungerle con una verghetta di vetro, o qualora si possa aumentare gradatamente la distanza fra l'una e l'altra pallina; laddove poi gli stessi minuzzoli di seta si separano e si sperdono disordinati nel liquido, tosto che cessi l'elettrizzazione nelle parti della macchina. Siffatto allineamento e siffatta aderenza, durante l'azione elettrica, mostrano aver ognuno di quei minuzzoli coibenti assunto gli opposti stati elettrici ai propri estremi, ovvero essersi tutti polarizzati, siccome s'è detto sopra accadere, per mutua induzione, in una fila di conduttori disgiunti ed isolati (Osserv. 15.^a).

Perciò in un somigliante stato di polarità elettrica devono pur trovarsi le molecole del liquido coibente interposto fra le palline, costituendo tra queste varie *linee d'azione elettrica*, in un modo affatto analogo alle linee d'azione magnetica, che si costituiscono colle particelle di limatura tra i due poli d'un magnete (§ 297. 3.^a), appunto per reciproca induzione fra le particelle stesse.

Consimili fenomeni si ottengono gittando nel terebenteno, in cambio della seta, minuzzoli di sovero raspato, oppure d'oro battuto: se non che in quest'ultimo caso, operando nel bujo, veggonsi scoccare minute e reiterate scintillette tra i singoli frammenti formanti catena fra le palline metalliche.

A questo proposito tornano molto in acconcio i fenomeni osservati dal Riccò.

Egli, cospargendo di finissime spore di lycopodio i corpi elettrizzati, od i conduttori ad essi accostati, ottenne la formazione di numerosi getti o filetti sottili di tali polviscoli, i quali, illuminati da luce solare diretta e proiettata su fondo scuro, disegnano con chiarezza le curve d'azione elettrica fra induttore ed indotto, di forma affatto simile alle curve d'azione magnetica, testé ricordate. Egli osservò altresì rapidi moti vibratorii nei polviscoli formanti tali curve, affatto analoghi a quelli accennati sopra nella osserv. 14.^a colle palle elastiche (a).

Sembra pertanto plausibile l'ammettere che, *pur quando fra l'in-*

(a) *Sulle curve percorse dalle polveri elettrizzate*, del prof. A. Riccò. Roma 1867.

duattore e l'indotto siavi soltanto l'aria, i varii fletti di molecole di questa, polarizzandosi, costituiscano tante linee d'azione elettrica fra i varii punti delle superficie affacciate di tali due corpi.

Questo corollario può mettersi in evidenza con un'elegante esperienza del Govi (1865). Un tubo di vetro contenente aria rarefatta di molto (a), porta inseriti nei suoi capi, ermeticamente saldati, due brevi fili di platino, che all'esterno terminano in pallina metallica. Lo si sospende, per lunghi fili di seta, in prossimità d'un conduttore isolato. Operando nel buio, si scorge un momentaneo lampo di luce che diffondesi pel gas rarefatto nell'atto in cui si carichi rapidamente il conduttore, e quando ancora si scarichi questo pur rapidamente. Ottiensi del pari il lampo fosforico nel gas rado se, mentre dura l'induzione del conduttore elettrizzato, si fa comunicare col suolo un estremo del tubo, ed ancora lo si ottiene scaricando poi l'induttore; e ciò a prova di quant'è detto nella osserv. 19.^a

Quest'osservazione manifesta altresì che ogni fatto d'induzione elettrica, si al cominciare che al finire, è determinato da un atto dinamico, cioè da successive scariche intermolecolari che si compiono nel corpo indotto, sia esso conduttore o coibente (Osserv. 14.^a).

Ed è per codesta attitudine dei corpi coibenti a trasmettere agevolmente in distanza l'azione elettrica che il Faraday li denominò *corpi dielettrici*.

Anzi, se questi corpi esercitano, come qui si dice, una funzione attiva e non semplicemente passiva nel fenomeno della induzione elettrica, questa dovrà variare, quanto all'intensità, col variare la natura del corpo dielettrico interposto fra l'inducente e l'indotto. Ed infatti risulta da molte prove di Faraday, Belli, Harris, Matteucci, Felici e Rossetti, che :

27.^a *I diversi corpi coibenti dispiegano un vario POTERE INDUTTIVO, pure essendo pari nel resto le condizioni della induzione.*

Abbiansi due dischi isolati ed affacciati ad una determinata distanza, e sia ciascuno munito nella sua faccia posteriore di elettrometro a quadrante molto sensibile. Per brevità distingueremo l'uno dall'altro questi due dischi colle lettere A e B. Frammezzo ed intorno ad essi siavi aria ben secca. Si comunichi ad A una carica elettrica, che provochi nella faccia posteriore una determinata tensione, cioè che produca nel corrispondente elettrometro una determinata deviazione. Si faccia comunicare B col suolo, interrompendo tosto dopo tal comunicazione; indi si scarichi A, e si noti di subito la tensione che apparirà in B, il quale (giusta la precedente osservazione 17.^a) sarà elettrizzato permanentemente per induzione attraversol'aria.

(a) I gas rarefatti sino ad un certo grado, come si dirà innanzi, operano quasi fossero corpi elettro-conduttori.

Ripetansi analoghe prove, nelle stesse condizioni, tranne che fra A e B s'interpongano successivamente lamine d'eguale grossezza, formate ora coll'una ed ora coll'altra sostanza coibente solida; e ad

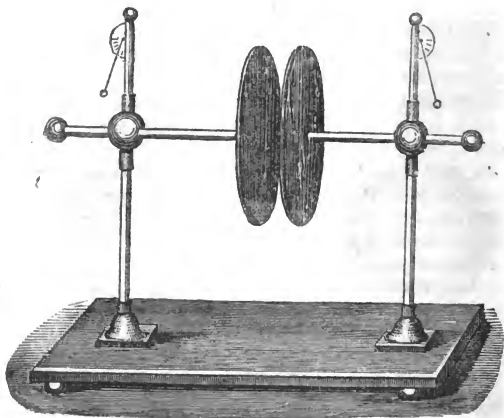


Fig. 216.

ogni prova si rilevi la tensione che una costante carica data ad A provoca per induzione in B. Avrà questa una differente misura colle varie sostanze, sempre però maggiore che nella prima prova fatta colla interposizione della sola aria tra l'induttore A e l'indotto B. Dai rapporti fra codeste tensioni indotte per una istessa determinata tensione induttrice si argomenta il potere induttivo relativo dei corpi dielettrici interposti.

Meno incerte riescono queste prove coll'apparecchio di Faraday, nel quale due sfere cave conduttive concentriche e di diverso raggio sono separate da uno strato coibente di uniforme grossezza. (fig. 217.).

Su questo argomento sonvi importanti ricerche del Felici (1871). Egli dimostrò che all'azione elettrica sviluppata da un coibente nell'atto che subisce e propaga un'induzione elettrica contribuiscono tutte le parti della massa, e non della sola superficie, essendo anzi indipendente dallo stato fisico di questa, e che la intensità di quest'azione del coibente ha relazione colla natura di esso.

Dimostrò pure che un coibente può trasmettere un'azione induttrice senza serbare traccia di polarizzazione col cessare di questa, mentre

serba a lungo qualsiasi elettrizzazione in esso direttamente provocato dal benché minimo strofinio.

Il Felici determinò altresì con molta cura i poteri induttivi specifici, e ne concluse: che essi dipendono dalla natura dei coibenti, che

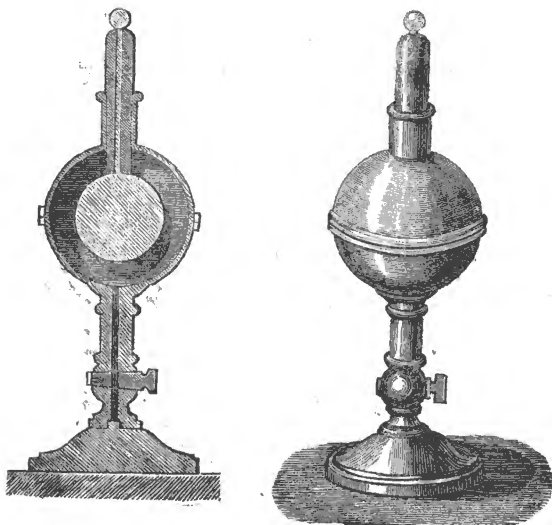


Fig. 217.

pel vetro codesto potere è maggiore di quello dello spermaceti, e che pel solfo è minore che per quest'ultimo. Infine dimostrò che *l'azione induttiva d'un dato coibente è sensibilmente proporzionale alla carica induttrice che ne modifica lo stato elettrico.*

I valori poi del potere induttivo specifico di vari coibenti, trovati dal Felici, sono in pieno accordo con quelli ottenuti poco dopo dal Rossetti (1873) con procedimenti svariati. Basterà quindi citare quest'ultimi, dove è presa per unità di codesti poteri induttivi specifici quello dell'aria secca :

Aria	1,00	Ebanite	2,05
Solfo	1,81	Vetro	3,45

Il Faraday, il Matteucci ed il Belli trovarono pel vetro valori sen-

sibilmente diversi, attesa la varia sua composizione, e massime attesa la sua igroscopicità che rende assai difficile averlo in istato di perfetta secchezza.

Induzione reciproca.

28.^a *Sovra un conduttore elettrizzato ed isolato, cui s'avvicini altro conduttore in istato naturale, pure isolato, cresce la tensione elettrica nelle parti prospicienti l'induttore stesso, mentre nelle parti opposte o più lontane avviene un proporzionato decremento di tensione.* Poichè il corpo accostato, elettrizzandosi per induzione, opera alla sua volta come induttore sul corpo elettrizzato, provocando nelle parti di questo che lo prospettano una tensione contraria alla propria, epperò analoga a quella dell'inducente primo (il corpo elettrizzato).

Codesto fenomeno, che denominasi *induzione reciproca*, riesce tanto più distinto quant'è minore la distanza tra le parti affacciate nei due corpi, e quant'è maggiore il potere induttivo dell'interposto coibente. Coll'interposizione di una lastra di vetro o di gomma indurita, che permette di accostar molto l'uno all'altro i due conduttori mutuamente influenzantisi, senza che scocchi scintilla (come accadrebbe coll'aria), il fenomeno della *reciproca influenza* riesce meglio manifesto.

Ma assai più spiccato ancora esso risulta ponendo il corpo indotto, pur solo momentaneamente, in buona comunicazione col suolo provocandosi in tal modo nell'indotto stesso una carica elettrica contraria e proporzionata a quella dell'inducente (Osserv. 17.^a), la quale determinerà nel corpo elettrizzato una ben maggiore differenza di tensione fra la parte affacciata e la posteriore della sua superficie. Epperò, senza aumentare di molto la tensione in quest'ultima, si potrà comunicare una nuova carica elettrica al corpo elettrizzato, la quale provocherà nell'indotto comunicante col suolo una novella carica opposta. E così per altre cariche che mano mano si comunicassero al primo di questi conduttori.

Con ciò si otterrà quel risultato che comunemente chiamasi *condensazione elettrica*, in quanto che nelle parti esterne dei due conduttori affacciati si ha una debole tensione, quantunque essa sia molto vigorosa nelle parti interne, quando appunto queste siansi potute ridurre a piccola distanza tra loro coll'interposizione d'una lamina coibente.

Codeste osservazioni si riscontrano facilmente col mezzo di due dischi metallici, isolati, muniti nella loro faccia posteriore di elettro-

scopio, e così sostenuti che si possano affacciare, e ridurre a varia distanza con facilità.

Pertanto, grazie all'induzione reciproca, la carica elettrica co-

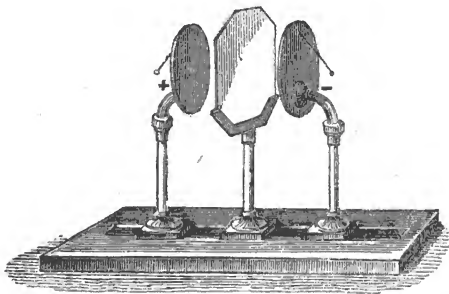


Fig. 218.

municata ad un conduttore risulta quasi tutta accumulata, e per così dire localizzata in alcune parti della sua superficie, quelle rivolte al coibente polarizzato: mentre nel resto la tensione riesce assai debole, così da rallentare di molto la dispersione, o meglio neutralizzazione della sua elettricità con quella dei corpi circostanti.

Codesta elettricità localizzata fu da alcuni denominata *latente* o *dissimulata*; ma impropriamente, poichè essa, in fatto, non cessa di manifestarsi in istato di tensione. Ed in vero le opposte tensioni nelle parti affacciate dei due conduttori tendono di continuo a neutralizzarsi; talchè, se i detti due dischi non sono molto discosti tra loro, esercitano uno sforzo notevole di reciproca attrazione, e se v'è soltanto aria frammezzo, la neutralizzazione stessa delle opposte elettricità si effettua collo scoccare tra essi d'una vivace scintilla. Se invece framezzo ai dischi si pone una lastra coibente, e se uno di essi è mobile (come nella bilancia dinamometrica alla pag. 523), si vedranno attrarsi scambievolmente, ed aderire poi fortemente alle faccie del coibente, cosicchè a staccarneli richiedesi un notevole sforzo.

29.^a *In ogni caso l'induzione reciproca, al pari dell'induzione semplice, sembra dovuta alla polarizzazione del mezzo dielettrico.*

Lo si prova agevolmente coi dischi metallici, di cui sopra, interponendo ad essi una lastra di vetro ben isolata e parallela alle facce affrontate pei dischi stessi. Comunicando ad uno di essi una carica elettrica, e ponendo momentaneamente l'altro in buona comunica-

zione col suolo, indi scostandoli entrambi dal coibente, si manifesta un rilevante incremento nella tensione delle loro facce posteriori, il quale poi scompare grado a grado, col riaccostarli lentamente, come dianzi, alla lastra. Scostando da questa uno dei dischi, si manifesterà soltanto in questo un aumento di tensione. E se, dopo averli allontanati entrambi, si riavvicina al coibente un solo disco, scemerà in esso la tensione, del pari che se l'altro fosse lasciato vicino.

A questo proposito convien però ricordare un'esperienza assai concludente su la polarità che assumono i coibenti coll'elettrizzazione. Una grossa lamina di materia coibente molle (mistura di stearina, spermaceti e cera) vien caricata coll'applicazione di due dischi metallici, comunicanti cogli elettrodi d'una macchina, a modo d'un quadro frainliniano; di poi si staccano i dischi e mercè un filo si sega la lamina in più falde parallele alle facce principali, e si esplora ciascuna di tali falde col mezzo dei dischetti, come si vedrà in seguito. Ognuna di esse si mostra polarizzata ed in accordo colla polarizzazione comunicata alla lamina interna dall'elettrizzazione, nel modo stesso che s'è detto addietro (Osserv. 22.^a) per l'elettrizzazione contemporaneo di più lamine di ebanite.

Quest'esperienza giova a completare un'altra fatta da Faraday, il quale si accontentò di segare per mezzo un cubo di spermaceti, e di esplorare separatamente le due parti.

Stato dei corpi elettrizzati.

30.^a *Comunicando ad un corpo conduttore isolato una data quantità di elettricità, questa si manifesta in forma di tensione elettrica soltanto alla superficie, dov'è mantenuta da una equivalente carica opposta, da essa provocata per induzione, nell'aria involgente* (Osserv. 25.^a).

La dimostrazione sperimentale di questo principio vien fatta con vari apparecchi, alcuni de' quali sono affatto impropri, per l'incertezza delle loro indicazioni. Tali sono quelli della sfera cava col pertugio e col dischetto d'assaggio (fig. 219) e quello della sfera compiuta con due emisferi che s'applicano direttamente su di essa (fig. 220).

Più sicuro ed elegante è l'apparecchio di Cavendish (1775).

Una sfera conduttrice isolata, e munita di pallina metallica ad essa fissata con sottile e flessibile filo conduttore, viene elettrizzata a debole tensione; le si avvicinano, si da rinchiuderla, due emisferi cavi isolati, di raggio interno assai maggiore di quello della sfera, e per mezzo d'un filo serico, connesso colla detta pallina ed attraversante il pertugio d'un emisfero, si solleva la pallina stessa, che per

gravità sta adagiata su la sfera, sino a porla in contatto coll'interna superficie degli emisferi: questi così si trovano in comunicazione metallica colla sfera. Allora si abbandona, ancora per mezzo del filo serico, la pallina, talchè ricada su la sfera, e risultati interrotta la detta comunicazione, e discostando poi tra loro gli emisferi, si trovano elettrizzati, mentre la sfera non è più elettrizzata (a).

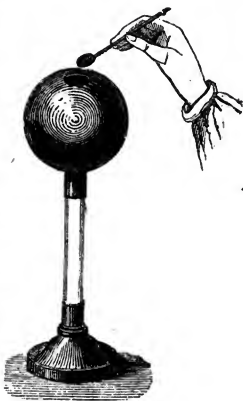


Fig. 219.

Questa prova si ripete con maggior semplicità mercè una modificazione del così detto *pozzo* di Beccaria, dovuta al Belli (1838). Un vaso cilindrico metallico, aperto in alto, è portato da un isolante; un disco metallico, di diametro alquanto maggiore di quello, del vaso è munito superiormente di tre fili di seta, che poi, raccogliendosi in uno, servono a sorreggerlo, e porta al disotto di sè una palla cava duttrice, mercè altro filo di seta. Ora, comunicando alla palla una carica elettrica, si che questo rimanga coperto dal disco, e provo-

cando poi destramente il contatto di essa coll'interna parete del

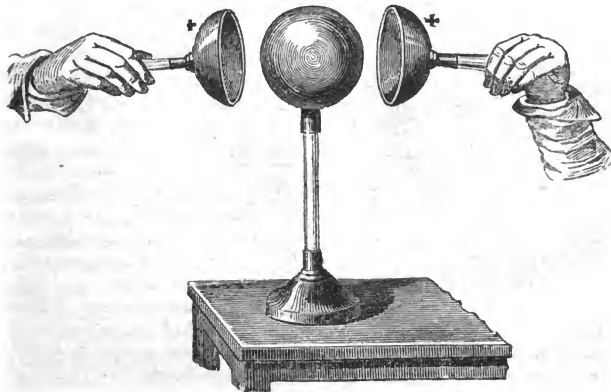


Fig. 220.

(a) Quest'apparecchio riesce anche appropriato per dimostrare la osservazione
CANTONI. *Elementi di Fisica.*

vaso, indi, sollevando disco e palla, si conoscerà che la palla non è più elettrizzata, mentre lo sono il vaso ed il disco.

Varie esperienze di Faraday dimostrano che anco nei corpi coibenti la tensione elettrica si manifesta soltanto alla superficie. Si isola un gran cubo cavo a pareti metalliche, racchiudente aria ben secca ed alcuni sensibili elettroscopi, che possan vedersi attraverso finestrelle praticate in dette pareti e chiuse da lastre di vetro: nel centro della cassa sta una sfera, la quale per mezzo di un reoforo, nel resto isolato, comunica col conduttore d'una macchina elettrica. Ora, trasmettendo all'aria, nel centro del vano, forti cariche elettriche, non si rileva alcun segno dagli interni stromenti elettroscopici, oppure si potranno avere vivaci scintille dalla esterna superficie del cubo.

Ecco altre opportune sperienze del Govi (1865 e 1871). Sono due sensibili elettroscopj, le cui fogliette d'oro sorrette da una lastrina di vetro, stanno per l'uno nel centro di un vaso di vetro coibente, chiuso da coperchio simile con mastice coibente, e per l'altro entro una boccia di vetro, contenuta in un più capace vaso pure di vetro, sicchè tutt'all'ingiro, nell'intercapedine, si possa versare acqua salata od altro liquido conduttore, il quale formi un compito e trasparente involuppo all'elettroscopio. Ciascun d'essi è posto sovra un sostegno isolante.

Ora le fogliette d'oro si smuovono distintamente entro il vaso coibente tosto che, anche a qualche distanza, si presenti e si vada mutando di luogo un corpo elettrizzato. Invece esse rimangono perfettamente immobili nell'altro vaso, ove esse stanno ricinte da uno strato conduttivo, ancorchè il corpo elettrizzato sia accostato al vaso esterno. Poichè, nel primo caso, le linee d'azione induttrice del corpo elettrizzato rispetto alle fogliette non riescono simmetriche ed equivalenti dalle varie bande; laddove nel secondo caso, grazie alla perfetta conduttività del viluppo, si riducono eguali e simmetriche le azioni induttrici esercitate da tutti i punti di esso su le fogliette rinchiuse.

31.^a *I conduttori, aventi figure simili, ed isolati in uno stesso mezzo coibente, presentano capacità elettriche (a) direttamente pro-*

precedente: tenendo prima aperti gli emisferi, uno dei quali con un reoforo comunica con un elettromotore, e comunicando alla sfera una data carica elettrica: indi chiudendo gli emisferi e sollevando la pallina a toccarli. La deviazione elettrometrica riesce eguale nelle due diverse disposizioni delle parti dell'apparecchio e della carica al medesimo comunicata.

(a) Questa locuzione di *capacità elettrica* è veramente poco propria, riferendosi all'ipotesi dell'un fluido o dei due fluidi elettrici. Noi qui la serbiamo nel significato di un mero rapporto quantitativo fra la carica elettrica (quantità di elettricità comunicata al corpo) e la tensione, come è detto all'osservazione 12.^a

porzionali alle loro superficie. Epperò, comunicando ad essi eguali cariche elettriche, manifestano nei punti omologhi tensioni inversamente proporzionali alle rispettive loro superficie.

È questa una dipendenza, ed insieme una conferma del principio precedente. Se la tensione elettrica alla superficie dei corpi elettrizzati è mantenuta da una opposta tensione che si provoca nel circo-stante coibente polarizzato, la capacità elettrica, a figure simili, sarà in essi proporzionale alla rispettiva loro superficie. E quindi anche, a figure eguali e ad egual superficie, dovrà riescire eguale la capacità elettrica, qualunque sia la sostanza costituente i corpi.

Infatti Coulomb ed altri verificarono che una data carica produce tensioni eguali in sfere conduttrici aventi egual diametro e quindi superficie eguali, qualunque poi sia la natura del metallo onde sono formate, e siano esse piene oppur cave, od anche fatte di materia coibente, rivestita di sottilissima foglietta d'oro. Or questi fatti basterebbero, anche da soli, a provare quanto s'è detto testè, che cioè l'elettricità comunicata ad un corpo si manifesta, in forma di tensione, soltanto alla superficie.

E che questa tensione alla superficie sia correlativa ad una contraria carica che, per induzione, si promuove nel mezzo dielettrico in cui esso sta, si può inferire pur da ciò, che la capacità di un dato conduttore varia col mutare la natura di detto mezzo. Ad esempio, secondo i dati esposti nell'osserv. 27^a, una sfera conduttrice di dato diametro presenterà una capacità differente nel rapporto di 1,8 ad 1, secondo che sarà circondata da un involuppo di solfo piuttosto che da aria secca. Epperò si rileva che la capacità elettrica di un corpo s'aumenta col potere induttivo del mezzo dielettrico (Osserv. 26^a).

32.^a *Per rispetto ai fenomeni elettrici la terra può esser considerata quale una sfera conduttrice, isolata, d'immensa superficie.*

Giusta l'antecedente osservazione 26.^a, avendosi due sfere conduttrici isolate, una delle quali elettrizzata e l'altra in istato naturale, se si fanno comunicare tra loro, o coll'immediato contatto delle loro superficie metalliche, o mediante un archetto conduttore, la carica elettrica della prima si ripartirà fra le sfere in ragione della loro capacità, cioè della loro superficie; talchè, separandole di nuovo, le tensioni elettriche saranno in esse eguali, ma tanto minori di quella che dianzi verificavasi nell'una sfera, quanto più grande sarà la somma delle superficie delle due sfere rispetto a quella della sfera già prima elettrizzata. Cosicché se la sfera in istato naturale sarà grandissima in confronto di quella elettrizzata, la carica di questa passerà per la massima parte nell'altra, e tutt'e due paleseranno di poi una ben debole tensione.

Ora la superficie terrestre, in gran parte formata da acqua salsa

e nel resto sempre tal poco umida, e tutt'all'ingiro circondata dall'aria atmosferica coibente, massime ne' suoi strati più alti e meno umidi, può fondatamente riguardarsi come una sfera conduttrice isolata, di sterminata superficie. Epperò, mettendo in comunicazione con essa un qualunque corpo elettrizzato, per grande che ne sia la carica, questa si trasmetterà, ben può dirsi, tutta alla terra, cioè rimarrà esso elettrizzato ancora, ma con una tensione affatto insensibile. E ciò si verificherà tanto per una carica positiva che per una negativa, venendo essa in ogni caso neutralizzata da un'equivalente carica contraria della terra.

33.^a La capacità elettrica dei corpi varia anche colla loro figura. *Ad eguale estensione superficiale offrono maggior capacità i corpi aventi figure che più si stendono in lunghezza, ovvero i corpi le cui parti superficiali sono meno raccolte rispetto ad un punto centrale, sì da riescir maggiore la media distanza delle parti stesse da tal punto.*

Così, ad egual superficie, la capacità è maggiore in un cilindro che in una sfera, in una lamina rettangolare che in un disco circolare, ed in diversi cilindri cresce coll'aumentare del rapporto fra la lunghezza ed il diametro.

Volta, che verificò in più casi codesto principio, raccomandò, per accrescere la capacità dei conduttori delle macchine elettriche, i lunghi a cilindri piccolo raggio, aventi alle estremità sfere di raggio maggiore.

A mostrare che, per una data carica comunicata ad un corpo, la tensione riesce inversamente proporzionale alla superficie, si comunica una carica ad una catenella ammicchiata sul cappello d'un elettrometro a pagliette: essa manifesterà una tensione minore, cioè una maggiore capacità, mano mano che si svolgerà la catenella, col sollevarne un capo con un filo coibente. Però la tensione crescerà ancora al segno di prima (se l'ambiente è ben secco e se la carica data è molto moderata), col ribassare la catenella, ammicchiandola come dianzi.

Questo semplice modo di prova riesce più comodo e meno incerto del seguente apparecchio proposto da Faraday.

Su di un cilindro metallico, isolato e munito di elettrometro a quadrante, si avvolge a più giri una lunga striscia metallica assai flessibile, e le si comunica una data carica, la quale produca una notevole divergenza nel pendolino. Allora, girando il cilindro sicché la striscia si svolga, la deviazione elettrometrica andrà man mano scemando; ma crescerà di nuovo, circa sino al grado precedente se l'aria è ben secca, col r avvolgere come dianzi la striscia sul cilindro (fig. 221).

34.^a La figura d'un conduttore influisce altresì sul riparto della carica e quindi della tensione nei vari punti della sua superficie.

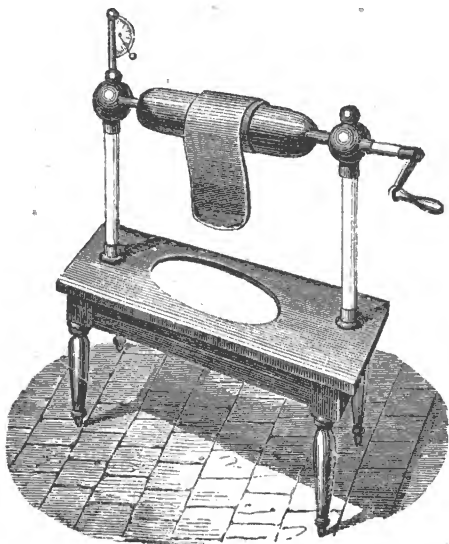


Fig. 221.

In ogni punto la tensione è proporzionale alla somma delle azioni induttrici che su di esso si esercitano dai corpi circostanti.

Ad una sfera conduttrice isolata, comunicando una carica elettrica, la tensione riesce eguale in ogni punto della sua superficie, purché sia assai discosta per ogni parte da altri conduttori. Invece in un cilindro, od in una serie di sfere d'egual diametro coi loro centri e coi loro punti di contatto in una stessa retta, la tensione è massima alle estremità, decresce rapidamente a poca distanza da esse, ed è minima a mezzo della lunghezza. E la differenza fra il massimo e minimo valore cresce coll'aumentare della lunghezza del cilindro o della serie di sfere rispetto al diametro.

Queste esplorazioni si ponno fare con una pallina d'assaggio, tenuta da sottil verghetta coibente, che presentasi poi ad un elettrometro di Palmieri o di Coulomb (fig. 201 o 202).

A schiarire questa distribuzione della carica elettrica sulle varie superficie convien citare alcuni risultati avuti dal Coulomb colla bilancia di torsione.

Ad un cilindro conduttore isolato, lungo pollici 30 e di un pollice di raggio, e terminante in due emisferi d'egual raggio, comunicata una carica elettrica, e posta 1,0 la tensione nella sezione mediana del cilindro, a due pollici dall'estremità la tensione riuscì 1,25, e 1,80 ad un solo pollice, cioè dove si connettono le basi del cilindro e dell'emisfero: mentre all'estremità risultò 2,30. Per le seguenti serie di sfere le tensioni relative indicate furono, per ciascuna sfera, rilevate nel circolo massimo perpendicolare alla retta dei centri:

3 sfere		6 sfere		12 sfere		24 sfere	
1. ^a	1,34	1. ^a e 6. ^a	1,56	1. ^a e 12. ^a	1,70	1. ^a e 24. ^a	1,75
2	1,00	2 e 5	1,05	2 e 11	1,13	2 e 23	1,12
3	1,34	3 e 4	1,00	6 e 7	1,00	12 e 13	1,00

Però ne' vari punti superficiali di due sfere, d'egual diametro, poste a contatto, isolate ed elettrizzate, la tensione riesce pure assai diversa. È nulla dal punto di contatto sino circa a 20° da esso, e riesce 0,21; 0,80; 1,09 e 1,05 rispettivamente a 30, 60, 90 e 180 gradi di distanza dal contatto stesso. Più ineguale risulta la tensione in vari punti di due sfere aventi diverso diametro e similmente a contatto ed elettrizzate, come nel seguente esempio:

Sfera di raggio uno			Sfera di raggio doppio		
a 30° dal contatto, tensione		0,06	a 6° dal contatto, tensione		0,00
60	»	0,59	30	»	0,67
90	»	1,00	90	»	0,80
180	»	1,33	180	»	0,80

Ponendo a contatto d'una sfera un'altra, avente il raggio d'un quarto della prima, e ritenuta 1,0 la tensione media nella maggiore, trovò nella minore, a 180° dal contatto, la tensione relativa 2,35. Con altra, avente il raggio d'un ottavo della prima, posta similmente a contatto con questa, trovò nella piccola a 180° dal contatto la tensione 3,18, ritenuta ancora 1,00 la tensione media nella grande.

Sovra un ellissoide di rivoluzione la tensione è massima nei punti corrispondenti all'asse maggiore e minima nella sezione comprendente l'asse minore, e codeste tensioni estreme tengono lo stesso rapporto delle lunghezze degli assi (fig. 222).

Perciò su di un cono, che può riguardarsi come un mezzo ellissoide ad assi molto differenti, la tensione sarà massima al vertice, e tanto più grande quanto più lungo sarà l'asse del cono rispetto al raggio

della base, ovvero quanto più acuto sarà l'angolo formato dalla generatrice coll'asse del cono stesso.

Cosiffatta influenza della figura d'un conduttore sul riparto della

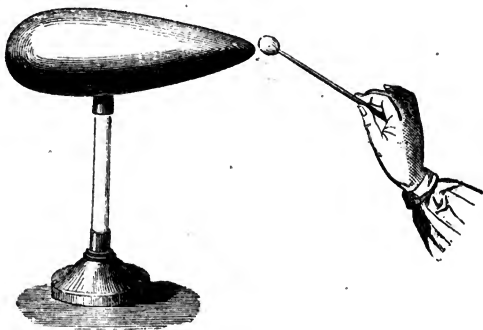


Fig. 222.

tensione alla sua superficie si può desumere da ciò, che la tensione dev'essere in ogni punto proporzionale alla somma delle reazioni induttrici, su di esso esercitata da tutti i corpi circostanti indotti.

Per una sfera elettrizzata ed isolata in una camera, lungi da altri conduttori, a motivo della sua forma simmetrica, saranno eguali, per ciascun punto della sua superficie, e la somma delle azioni induttrici esercitate sui corpi circostanti indotti, e la somma delle reazioni da questi spiegate sull'inducente, per mezzo di altrettanti filetti di molecole polarizzate (ovvero dalle *linee di forza induttiva*, secondo Faraday) che stabiliscono comunicazione fra i singoli punti dell'inducente e quelli dei corpi indotti che lo prospettano: epperò la tensione riuscirà eguale per ogni punto dell'inducente stesso. Invece agli estremi di un cilindro o di un ellissoide allungato, e più ancora al vertice di un cono, la tensione sarà maggiore che negli altri punti, concorrendo ivi un maggior numero di linee di forza induttiva, ossia di punti di prospetto dei corpi circostanti.

La sussistenza di queste linee d'induzione elettrica vien messa in chiaro dalle sperienze sopra accennate del Riccò (pag. 538).

35.^a *I corpi acuminati o le punte esercitano una speciale influenza su la dissipazione o neutralizzazione delle cariche elettriche, e da ciò alcuni fenomeni rimarchevoli che essi presentano.*

Da quanto si disse testè si può inferire che al vertice di un sottile

cono elettrizzato, la tensione giungerà a tal grado, da produrre la neutralizzazione della carica ad esso comunicata con quella contraria provocata per induzione nell'aria circostante; e ciò malgrado la coerenza o difficile conduttività di questa per l'elettricità.

Se ad un conduttore elettrizzato ed isolato, ancorchè di figura sferica, si accosta un conduttore acuminato in buona comunicazione col suolo, elettrizzandosi questo oppostamente per induzione (Osserv. 17.^a) ed a fortissima tensione al vertice, potrà ancora avvenire la neutralizzazione delle opposte cariche, attraverso l'aria interposta, fra le cui molecole polarizzate a forte tensione accadranno successive scariche, ovvero successive neutralizzazioni delle opposte elettricità (a).

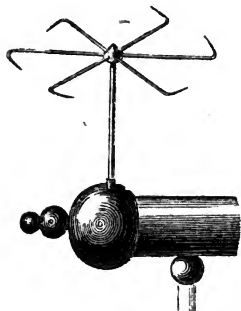


Fig. 223.

E nell'atto di codeste neutralizzazioni fra particelle in istato di forti tensioni elettriche opposte, si scorge una luce tanto più viva, quanto più grandi sono le cariche opposte che si neutralizzano per un limitato numero di linee di forza induttiva, e quanto più vicine sono queste tra loro.

Però nell'oscurità, una punta applicata ad un corpo in istato elettropositivo offre l'apparenza d'un *fiocco* luminoso, e d'una *stelletta* se è in istato negativo. Ed una punta comunicante col suolo, avvicinata ad un corpo elettrizzato positivamente, presenta l'aspetto d'una *stelletta*, ed, invece, d'un *fiocco* di luce se questo è elettrizzato negativamente.

Inoltre l'aria elettrizzata per comunicazione in prossimità di una punta e da essa respinta, siccome in egual stato elettrico, produce un leggier soffio o venticello. Che se la punta stessa sarà facilmente mobile, verrà respinta dall'aria, come si rileva in un filo piegato ad S e sostenuto in bilico da un perno verticale su d'un corpo comune elettrizzato, e meglio ancora in una rotella a bracci ricurvi, similmente sorretta.

Che se codesta girandola, collocata sopra uno sgabello isolante, comunicherà mediante un reoforo con un elettrodo d'una macchina, e la si coprirà con una campana di vetro, s'osserversi che essa, in

(a) Il Belli ha osservato che al vertice di un corpo acuminato, a parità di carica, l'elettricità negativa assume una tensione maggiore che non faccia l'elettricità positiva; epperò la prima si dissipa più prestamente dell'altra. Il Faraday confermò poi quest'osservazione.

breve, rallenterà il suo moto, sino a ridursi ferma, tuttochè si continui a mantenere in azione la macchina stessa. Poichè, di tal modo, elettrizzandosi fortemente anche l'interna parete della campana, l'insieme dei punti di questa operano poi simmetricamente (e per induzione e per ripulsione su l'aria) su la girandola stessa. Ed infatti, se mentr'è ferma la rotella, si presenterà all'esterno della campana, anche a distanza, un corpo elettrizzato, od un conduttore comunicante col suolo, la girandola si metterà tosto in moto, turbandosi con ciò, per induzione diretta o per induzione riflessa (dalla campana sul conduttore o da questo su quella), la simmetria di azioni che prima sussisteva. E ciò di conformità ed a conferma di quanto si disse sopra nell'osser. 30.^a

La repulsione fra l'aria elettrizzata per la dissipazione operata da una punta e la punta stessa può cagionare una specie di soffio bastevole a deviare o spegnere la fiamma d'una candela ad essa accostata. Un simile effetto ottiensi se la candela è elettrizzata e le si accosta una punta comunicante col suolo. La fiamma, essendo conduttiva assai più dell'aria fredda, riceve l'elettricità stessa della punta, e quindi l'apparente soffio è dovuto alla mutua ripulsione tra corpi aventi il medesimo stato elettrico.

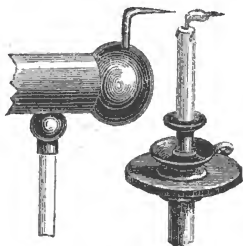


Fig. 224.

36.^a La perdita di elettricità per un

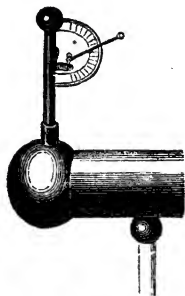


Fig. 225.

sostegno isolante è proporzionale alla carica, e quindi, a determinata capacità del conduttore isolato, è proporzionale alla tensione; e altresì proporzionale al diametro del sostegno, ed inversamente proporzionale alla radice quadrata della lunghezza del sostegno medesimo.

E per ogni conduttore isolato di determinata capacità e figura esiste un limite nella carica e quindi nella tensione, oltre il quale le cariche successive si dissipano completamente pel sostegno e per l'aria circostante.

Queste leggi rilevate da Coulomb coll'impiego della bilancia di torsione, giovano a mostrare che pei conduttori cilindrici la posizione più opportuna dei sostegni isolanti sarà la più lontana possibile dagli estremi, e che i sostegni devono essere, compatibilmente alla solidità, lunghi e sottili.

Il Belli ha poi verificato che, a parità di condizioni nel resto, la dispersione è maggiore per l'elettricità negativa che per la positiva.

Coibenti armati.

§ 309. Denominansi *condensatori* o *coibenti armati* quei diversi apparati che, in virtù di reciproca induzione, valgono ad accumulare e conservare per alcun tempo rilevanti cariche elettriche, le quali esteriormente si manifestano con deboli tensioni. Tali sono il quadro frankliniano, il condensatore di Epino, la boccia di Leida, l'elettroforo ed il condensatore di Volta.

37.^a Il *condensatore di Epino* corrisponde all'apparecchio già adoperato sopra (Oss. 27.^a e 28.^a) per dimostrare la reciproca induzione esercitantesi tra due conduttori in opposta tensione elettrica, attraverso

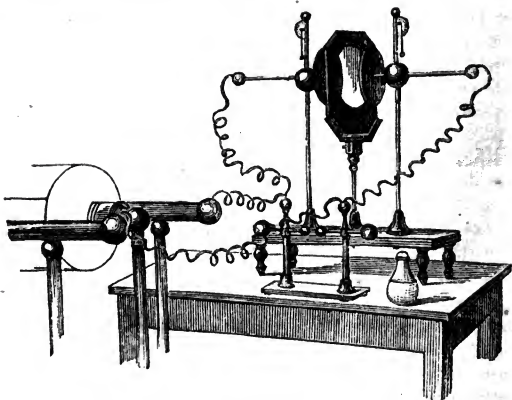


Fig. 226.

un coibente solido. Per renderlo meglio operativo conviene applicare alle faccie di una lamina di vetro, verniciata nel suo contorno, due dischi metallici che, rispettivamente, comunicano per mezzo di reofori rivestiti di gomma coi due elettrodi della macchina Nairne, ed in pari tempo comunicano coi due bracci d'uno spinterometro, le cui palle siano ridotte a qualche distanza. Allora, girando il cilindro, si noterà che la tensione all'esterno dei dischi crescerà molto più lentamente per l'intermezzo del coibente che nol farebbe senza di esso. Però, continuando nell'elettromozione, giungerà la tensione a

dare una scarica esplosiva con scintilla fra le palle spinterometriche, assai viva per luce e per rumore. E ciò si produrrà tanto più distintamente quanto maggiore sarà la distanza tra le palle, crescendo però proporzionatamente il numero dei giri del cilindro voluti a dare una scarica.

38.^a Ma convien fare alcune distinzioni circa al modo di elettrizzazione da questo condensatore.

Finchè le armature staranno a notevole distanza dalla lamina coibente, questa si elettrizzerà solo per induzione (osserv. 16.^a) cospirando su di essa le azioni induttrici delle due armature che sono oppostamente elettrizzate; epperò essa sarà elettrizzata soltanto finchè dureranno le azioni induttrici predette, ritornando poi allo stato naturale col cessare di queste (Osserv. 16.^a).

Similmente accadrà se la distanza delle armature sarà pur piccola, ma la carica delle armature sarà così moderata, che non iscoccino scintille fra le faccie interne delle armature e quelle della lamina. E la stessa cosa accadrà ancora se le armature toccheranno la lamina, e se però la carica sarà tanto debole che la stessa lamina dielettrica continui ad operare come vero coibente, resistendo ad ogni penetrazione della carica data alle armature.

In tutti questi casi il coibente sarà polarizzato solo per induzione, cioè transitoriamente, e sussisterà quindi una reciproca attrazione tra le faccie prospicienti della lamina e delle armature.

Ma tosto che la carica data alle armature sarà tale da produrre una tensione nelle loro faccie interne che valga a determinare il salto delle scintille sulla lamina (se esse stanno da questa discoste) o che superi il *limite di resistenza* del coibente (se esse lo toccano), questo si caricherà per comunicazione a modo di un imperfetto conduttore, cioè la carica data alle armature andrebbe grado a grado penetrando da uno ad altro straterello interno, e così si invertirebbe il precedente stato elettrico indotto nelle sue facce, ed esso diventerebbe permanentemente polarizzato, cioè in istato omonimo a quello delle armature.

Questa inversione può verificarsi col mezzo della bilancia elettrica, come all'osserv. 13.^a, supponendo le armature già ridotte a contatto del coibente, e girando lentissimamente il cilindro elettromotore, e misurando col dinamometro, ad ogni quarto di giro, l'aderenza elettrica tra l'armatura mobile e la faccia del coibente ad essa corrispondente; poichè questa aderenza andrà crescendo dapprincipio rapidamente di grandezza, poi starà alcun po' costante, indi decrescerà ancora rapidamente. Fino a raggiungere il limite di coibenza, l'aderenza crescerà (determinata essendo dalla opposizione di stato elettrico tra induttore ed indotto), poi decrescerà perchè la carica che

penetra, siccome omonima, provoca invece ripulsione tra i due corpi a contatto.

Ora i comuni condensatori che qui passiamo a descrivere sono d'ordinario caricati così da soverchiare il rispettivo limite di resistenza.

39.^a Il *quadro francliniano* consiste in una lastra di vetro, alle cui faccie opposte applicansi due lamine metalliche, dette *armature* (che di solito sono di stagnola, per bene aderente al vetro), in modo però da non coprire con esse la parte della lastra vicina al perimetro, che vien coperta invece da vernice coibente. La carica ottiensì facendo comunicare rispettivamente le due armature coi due elettrodi isolati (a) d'una macchina elettrica, oppur facendo comu-

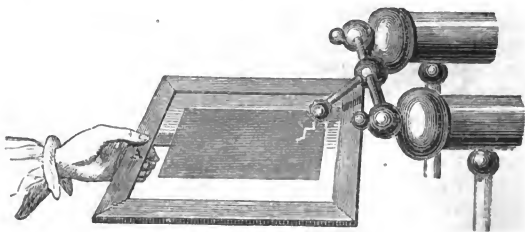


Fig. 227.

nicare l'una di esse con un elettrodo e l'altra col suolo. Atteso l'interposizione del coibente solido si può trasmettere al quadro anche una forte carica, pur apparendo assai debole la tensione nelle faccie esterne delle armature stesse, come vedesi esplorandole separatamente con una pallina d'assaggio.

Facendo poi arco tra le armature coll' *eccitatore* (un arco metallico snodato e munito di manico isolante), s'ottiene una fragorosa e vivida scintilla, benchè corta, corrispondente all'energia elettrica condensata fra le facce interne dell'armature e quella del coibente. E questa scarica è così poderosa, da produrre una forte commozione in una o più persone che, dandosi la mano successivamente, formino arco tra le due armature.

Che poi sian veramente fortissime le tensioni opposte spiegate per induzione fra l'interna faccia dell'armatura e la corrispondente faccia del coibente, ed ancor quelle fra le cariche opposte comuni-

(a) Meno efficace riesce il modo di carica comunemente adoperato di far comunicare una armatura con un elettrodo e l'altra col suolo. Il che io dimostrai nel 1866.

cate alle due armature dai due elettrodi, ne fa prova la forte aderenza, sperimentata colla bilancia, che si manifesta fra le armature ed il coibente (Osserv. 28.^a), talchè spesse volte l'aderenza fra il disco mobile e la lamina coibente vince anche il peso di questa, e la solleva con sè. Queste forti tensioni interne sono però meglio rilevate dal frequente fatto che la carica del quadro può giungere a tale che per i reciproci sforzi delle opposte esterne tensioni esso vien traforato o spezzato da una scarica detta *spontanea* od *interna*, ancor che essa sia di materia resistente come il vetro, e della grossezza di qualche millimetro.

40.^a Una *boccia di Leida* differisce da un quadro francliniano solo



Fig. 228.

per ciò, che in quella il coibente ha la forma d'una boccia più o meno capace. Una delle armature sta all'esterno, e l'altra all'interno e comunica con una verghetta metallica, che sorge all'infuori, attraversando un tappo coibente: le due armature sono separate da una porzione delle due superficie della boccia, cui si applica una vernice coibente. Per molti usi la boccia riesce meglio maneggevole del quadro, e più facilmente la si carica e la si scarica.

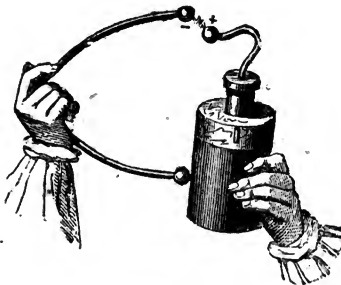


Fig. 229.

Qualora poi si uniscano insieme le armature esterne di più bocce, e le interne pure tra loro, si forma un *coibente composto*, detto anche *batteria di Leida*, la cui capacità corrisponde alla somma di quelle delle singole bocce (fig. 230).

41.^a Comodo ed abbastanza efficace riesce anche il *condensatore*

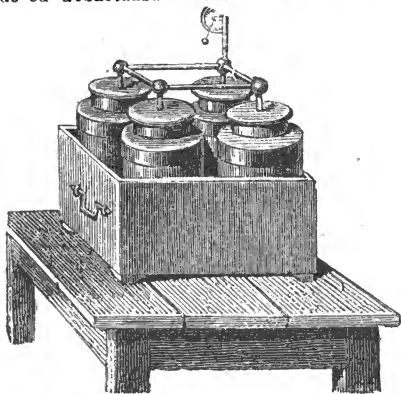


Fig. 230.

di *gomma elastica*, formato coll'avvolgere sovra loro stesse, a guisa di rotolo, due lunghe lamine di gomma elastica dissolforata e non indurita, separate tra loro e coperte per una faccia da lamine di stagnola di larghezza alcun po' minore. S'avvolge poi questo rotolo entro una guaina di seta e lo si fissa per un estremo su di una base isolante, mentre all'altro estremo, due asticelle metalliche terminate in palline comunicano rispettivamente colle due lamine di stagnola, le quali stanno separate in ogni parte dal coibente e ne formano le armature. Se la gomma è di poca grossezza e di molta estensione nel suo insieme, costituisce un condensatore di molta capacità in piccolo volume e non tanto fragile quanto lo sono le comuni boccie di Leida. Esso però non può caricarsi a forte tensione per timore che venga traforata la gomma per iscarica interna, ed a tal uopo convien disporre un'asticella metallica attraversante una delle dette palline, e che con manico isolante si fa scorrere, talchè l'estremo interno di essa riesca in ogni

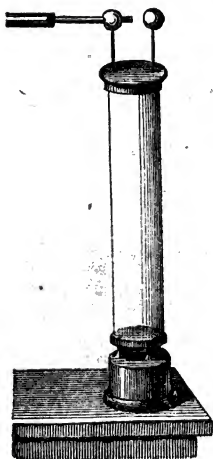


Fig. 231.

caso ad una distanza dall'altra, inferiore alla tensione massima compatibile dal condensatore.

42.^a Quando un condensatore, caricato al modo detto sopra per un quadro frankliniano, abbia data la scintilla, col far arco conduttivo fra le sue armature, non può dirsi con ciò completamente scaricato, cioè ridotto al pristino stato neutro.

Trascorso alcun tempo da quella prima scarica, può ottenersene una seconda e più tardi una terza, e talora anche più; ma la tensione di queste scariche successive, chiamate *residui della carica*, è molto minore di quella della prima scarica, e va dall'una all'altra rapidamente decrescendo.

Belli osservò che in una boccia di Leida questo decremento, a parità di condizioni nel resto, è molto più rapido se l'armatura interna

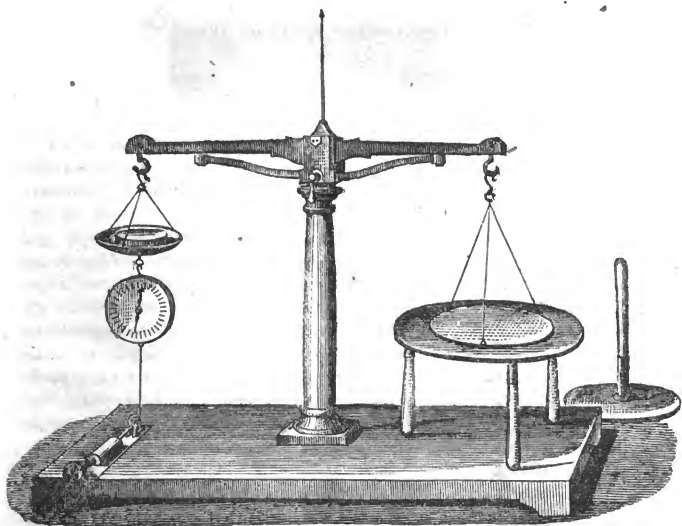


Fig. 232.

è stata, colla carica, elettrizzata negativamente, che non quando lo sia stata positivamente.

Egli osservò inoltre che, comunicando successivamente all'armatura interna d'una stessa boccia, prima elettricità positiva e poscia

elettricità negativa, e però producendo, dopo ognuna di queste cariche, la corrispondente scarica esplosiva, la boccia darà in seguito, dapprima una serie di residui positivi decrescenti sino ad annullarsi, indi una serie di residui negativi crescenti sino ad un certo grado, e da ultimo decrescenti.

43.^a Eppure codesto condensatore sarà ancora suscettivo di mostrare la sua operosità elettrica. Infatti, se esso avrà le sue armature mobili, si potrà riconoscere la seguente serie di fatii, simili a quelli accennati nell'osserv. 21.^a a proposito di un coibente stato elettrizzato per istrofinio.

I.^o Che le armature, ancor dopo esauriti i predetti residui della carica, presentano una notevole adesione alle rispettive facce del coibente, siccome può rilevarsi facilmente col mezzo della bilancia;

II.^o Che staccando e sollevando col mezzo di un isolante una qualunque di codeste armature, si può trarre da questa una scintilla a forte tensione;

III.^o Che lo stato elettrico delle armature così staccate dal coibente è opposto a quello comunicato ad esse nell'atto della carica del condensatore, e che però l'una armatura è in istato opposto a quello dell'altra;

IV.^o Che, ricollocando le armature su il coibente dopo averne cavate le scintille come al n. II, ove si faccia nuovamente arco tra le armature stesse con un piccolo eccitatore, si avrà una breve scintilla fra questo e l'ultima armatura toccata;

V.^o Che, dopo ciò, si manifesterà nuova aderenza fra le armature ed il coibente, ed ancora, staccando quelle da questo, si avranno da esse scintille a forte tensione, in tutto come si disse poc' anzi ai n. III e IV;

VI.^o Che rinnovando quante volte si voglia codeste operazioni di staccare le armature, scaricarle, ricollocarle sul coibente e staccarne di nuovo, sempre si avranno scintille, la cui tensione sarà poco minore di quella manifestata col primo distacco, quando però si operi con cura, quando l'ambiente sia secco, e quando la lamina condensatrice sia ben coibente, quali sono la gomma elastica indurita ed il vetro verniciato con gomma copale.

VII.^o Che perciò queste scariche, acquistate dalle armature ogni volta che si fa arco tra esse, devono attribuirsi alle induzioni cospiranti esercitate su un tal sistema di conduttori (armature congiunte dall'arco) dalle due facce del coibente permanentemente polarizzato colla forte carica (α) comunicatagli precedentemente come condensatore.

(α) Abbiamo qui detto *carica forte*, volendo far intendere che supponiamo che al condensatore siasi data, come d'ordinario accade, una carica superiore di molto al limite di resistenza della lamina coibente (Osserv. 38.^a).

Le osservazioni qui accennate richiamano in parte le esperienze di Wilke (1762) su quella forma di elettricità che fu chiamata *vindice* dal Beccaria (1769), ma più ancora quelle che trassero il Volta (1775) alla scoperta dell'elettroforo.

44.^a Un'altra ingegnosa applicazione de' precedenti principii venne fatta dal Volta col suo *condensatore elettroscopico*, il quale serve a raccogliere e rendere poi sensibile l'elettricità a tensioni così deboli

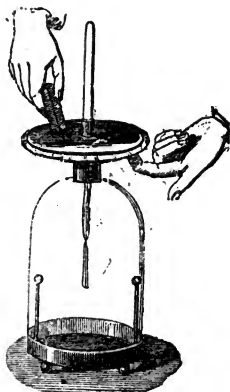


Fig. 233.

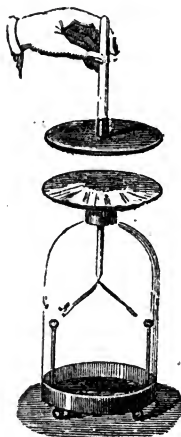


Fig. 234.

che direttamente non si paleserebbe all'elettroscopio comune. Consiste in due dischi metallici, uno dei quali è annesso al bottone d'un elettroscopio, l'altro è mobile per mezzo d'un manico isolante, e vien sovrapposto al primo, dal quale resta però separato da un sottile strato coibente. Toccando uno di questi dischi col corpo elettrizzato e l'altro con un dito tal poco umido, poi ritirando il dito e di seguito il corpo, i due dischi risultano carichi di elettricità contrarie che si condensano su le opposte loro faccie, per reciproca induzione attraverso lo strato coibente, e non manifestano tensione sulle faccie esterne dei dischi stessi; ma si palesano tosto che si solleva il disco superiore, l'elettroscopio accennando lo stato elettrico del disco inferiore.

Elettromotori ad induzione.

45.^a L'elettroforo del Volta può considerarsi quale una delle più semplici forme di *elettromotori ad induzione*, che oggi si trovò opportuno di sostituire in molti casi agli *elettromotori meccanici*. In quest'ultimi la elettromozione è mantenuta da continuo strofinio di superficie eterogenee (Osserv. 11.^a), laddove nei primi qui nominati la elettromozione, per essere iniziata, presuppone un corpo elettrizzato, che fa da induttore primo e richiede poi successivi atti di induzione. Tali sono la macchina Belli, la macchina Holtz, ecc.

Il Volta mostrò dapprima come un condensatore scaricato possa operare quale una fonte indeficiente di elettricità, cioè diventi un vero *elettroforo*, qualora abbia almeno una delle sue armature mobili, e sia maneggiato come s'è detto sopra al n. IV.^o della preced. osserv. 43.^a Però il Volta avvertiva la necessità della sottigliezza del coibente per avere *scariche elettroforiche* di non poca tensione, poichè, col diminuire la grossezza del coibente e quindi la distanza fra le armature, si rende maggiore l'efficacia della reciproca induzione nell'atto che lo si carica (Osserv. 37.^a) come condensatore, e quindi maggiore anche l'azione induttrice conspirante delle sue facce su le armature collegate dall'arco.

Inoltre il Volta trovò che un buon coibente (qual è una stacciata formata con colofonia, gomma lacca e trementina, fuse assieme) può venir caricato anche senza altra macchina elettrica, solo collo stro-

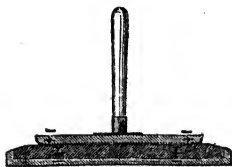


Fig. 235.

finarne la superficie con pannolano, o meglio col batterla leggermente con una pelliccia. Allora però bisogna subito applicare l'armatura mobile, chiamata *scudo*, e fare arco conduttivo fra l'armatura inferiore (chiamata *piatto*) e la superiore armatura. Di tal modo il coibente si troverà nelle condizioni del condensatore sovra considerato dopo la scarica, e farà luogo alla stessa serie di fatti enumerati nell'osserv. 42.^a In tale stato il coibente sarà polarizzato (Osserv. 21.^a), cioè presenterà opposte tensioni su le sue faccie, le quali, per induzione (Osserv. 17.^a), provocheranno cariche opposte nelle due armature metalliche, lorquando con archetto conduttivo le si toccheranno insieme (a).

(a) Anche in queste cariche per induzione delle armature dell'elettroforo non è necessaria la comunicazione col suolo: basta che le due armature sien fatte comunicare tra loro con archetto isolato.

Tuttavia l'efficacia elettroforica sarà maggiore adoperando la carica diretta, come si è qui primamente suggerito.

46.^a Ma convien osservare che in qualunque di questi modi si carichi l'elettroforo, affinchè questo raggiunga la massima sua efficacia, gioverà elettrizzarlo così moderatamente, che la prima scarica da esso data, col far arco tra le sue armature, provochi in queste per induzione una carica elettroforica che sia di poco inferiore al limite di coibenza della lamina. Altrimenti, se la carica del condensatore è s'ata molto più forte, o se il coibente è stato strofinato troppo a lungo o troppo fortemente battuto, s'avrà un elettroforo molto meno

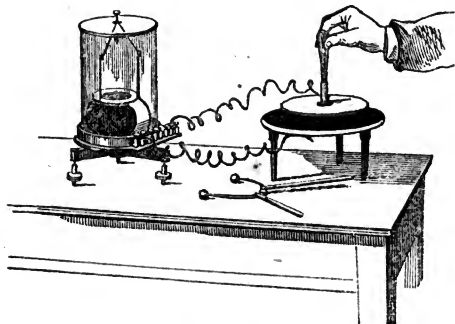


Fig. 236.

efficace. In tal caso, facendo arco la prima volta fra le armature s'avrà una viva scintilla, per la quale appunto le armature stesse ricevono tal carica elettroforica, la cui tensione interna, superando la resistenza del coibente, passa in parte in questo. Ora la polarizzazione permanente che questa nuova carica tende a produrvi, essendo di senso opposto alla polarizzazione precedente del coibente stesso, verrà a neutralizzare gran parte di questa: e così la successiva azione induttiva delle sue facce resterà proporzionalmente diminuita.

Questi fatti si ponno facilmente riconoscere misurando nei vari casi la aderenza elettroforica dell'armatura superiore colla bilancia a dinamometro (fig. 232).

47.^a Le scariche delle armature d'un elettroforo, producendosi rapidamente ed in notevole quantità coll'alzare lo scudo, ponno dare una corrente momentanea sensibile ad un galvanometro a filo molto lungo e sottile. Anzi, in tal caso, si ottiene un'altra corrente momentanea ma di verso contrario alla precedente, allorchè s'abbassa rapidamente

lo scudo, collocandolo sul coibente. È questa corrispondente alla carica per induzione che accade nelle armature stesse le quali (senza bisogno d'altro arco) comunicano tra loro per mezzo dello stesso filo galvanometrico e dei reofori di collegamento coi dischi. E così si potrà avere una lunga serie di scariche alternate, ora col sollevare ed ora coll'abbassare lo scudo; le quali scariche corrispondono qui ad una trasformazione in elettricità dell'energia prodotta col lavoro che compie l'operatore, vincendo l'aderenza dello scudo col coibente e sollevandolo rapidamente (fig. 234).

48.^a Lo studio accuratissimo fatto dal Volta su l'elettroforo, e segnatamente la possibilità di attivare un elettroforo colle scariche d'un altro, e di rinforzare poi il primo colle scariche di quest'altro, lo condussero ad ideare un congegno per cui, coll'alternò giuoco di due elettrofori, si potesse avere una serie indeficiente di scariche elettriche a forte tensione. Ma ei non condusse ad effetto quel suo pensiero, il quale però chiaramente preludeva al duplicatore di Bennet, perfezionato poi dal Belli, e quindi alle macchine ad induzione di Holtz, di Toepler, di Bertsch, ecc.

Ecco però come può tradursi in atto il concetto di due elettrofori cooperanti del Volta. Abbiansi due condensatori collo scudo mobile, i cui piatti metallici siano portati da verghe isolanti: i due scudi comunichino tra loro per mezzo di un reoforo che consenta i loro movimenti d'alzata, mentre i piatti, per due separati reofori, comunichino coi due rami d'uno spinterometro, le cui palle distino tra

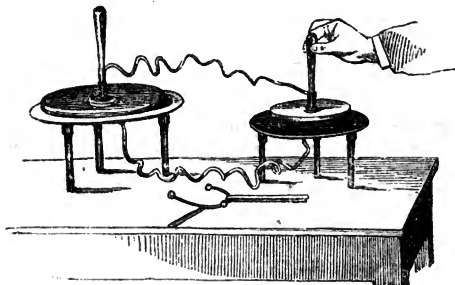


Fig. 237.

loro d'incirca un centimetro. Uno di questi condensatori A si sia già trasformato in elettroforo attivo, coll'uno o coll'altro dei due

modi testè ricordati; l'altro condensatore B non sia stato punto caricato. Allora, alzando lo scudo di A, le cariche d'induzione delle sue armature, acquistando forte tensione all'esterno, passeranno nelle armature di B, e quivi, ridotte ancora a debole tensione esterna, non potranno retrocedere, attesa l'interruzione formata dallo spinterometro nella comunicazione dei due piatti. Ricollocato lo scudo su A, si faccia arco fra le sue armature, e si alzi ancor dopo lo scudo stesso: s'avrà nuova scarica su B; e così, ripetendo ogni volta questo maneggio, si mandi su B un buon numero di scariche delle armature di A. Però queste scariche, accumulate nelle armature di B, potranno aver superato il limite di resistenza del coibente B ed esser penetrate in buona parte nel coibente stesso. Ma, poichè esse venner date per induzione dal coibente A polarizzato permanentemente, avranno polarizzato pure permanentemente il coibente B, ma in verso opposto.

Allora, se si farà arco fra le armature di B, accadrà la scarica di condensazione del medesimo e le sue armature rimarranno caricate per induzione in senso contrario, cioè elettroforicamente. Talchè, se ora, lasciato in quiete lo scudo di A, si alzerà quello di B, le sue armature passeranno le lor cariche in quelle di B e vi staranno per ciò che s'è detto sopra. Però, dopo molte scariche di B su A, che saranno omonime a quelle già proprie delle faccie del coibente A, e che potranno pure penetrare in questo, superatone il limite di resistenza, col far poi arco tra le armature di A, s'avrà la scarica di condensazione e nuova carica elettroforica nelle armature stesse. E così via alternativamente.

49.^a Il *duplicatore* di Belli consiste in una ruota a raggi isolanti, che portano altrettanti dischi metallici, i quali entrano alternativamente nel seno di due lamine metalliche piegate ad U e parimenti isolate, che si chiamano *armature*. Sonvi poi alcuni reofori ed alcune appendici metalliche, per modo che, se un disco entra in una delle armature con una carica elettrica già ad esso comunicata, gliela trasmette, e ne risente tosto la induzione, talchè, fattolo poi comunicare col suolo innanzi di escirne, acquista la opposta tensione e la conserva (Osserv. 17.^a), così da poterla trasmettere, in modo analogo, all'altra armatura. Ma ancor quivi, per l'induzione di questa, il disco si carica in opposta tensione (omonima quindi alla carica prima-mente ad esso data), per modo che rientrando poi nella prima armatura aggiunge una nuova carica alla precedente. E così di seguito si vanno aumentando mano mano le opposte tensioni nelle due armature, grazie all'alternativo immergersi ed emergere di ciascun disco da ognuna di esse. Però, mantenendo nei dischi un rapido moto di rotazione e facendo comunicare con reofori le due armature coi due rami di uno spinterometro, si avrà per esso una rapida serie di scintille.

Si potrà anzi evitare la comunicazione col suolo, se, con opportuno conduttore, verranno a comunicare tra loro i due dischi situati

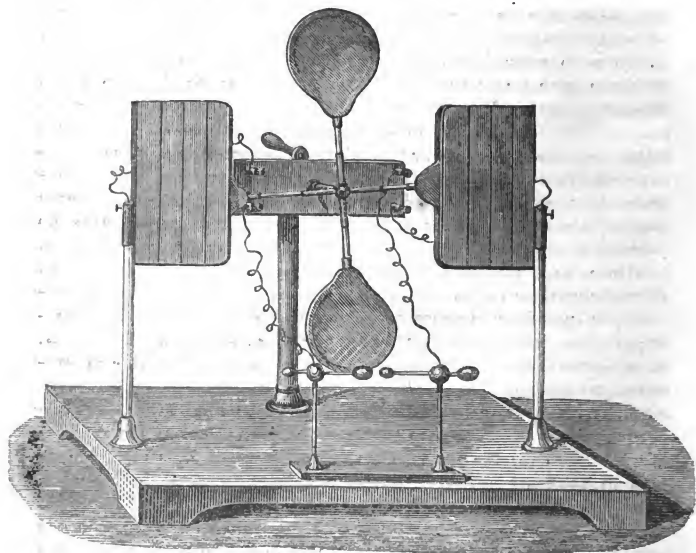


Fig. 238.

agli estremi d'uno stesso diametro della ruota nell'atto in cui ciascuno sta per emergere dalla corrispondente armatura. In tal caso, a vece delle scàrichè fra le armature, potrà aversi una nutrita serie di scintille fra i dischi stessi surrogando al detto conduttore uno spinterometro a due rami. Codesto duplicatore fu ridotto (1867) a forma più comoda dal mio collega prof. Brusotti per le dimostrazioni nella scuola.

50.^a Da parte sua il Belli sino dal 1831 trasformava il suo duplicatore in un *elettromotore ad induzione* di molta efficacia. In luogo della predetta ruota a dischi, pensò egli di adoperare un sol disco di vetro, su una faccia del quale stanno applicate alcune liste di stagnola a forma di settori, e tra loro distinte con intervalli verniciati, ed in luogo delle due lamine metalliche ripiegate, adoperò una cassa parallelepipeda, divisa pel mezzo, le cui pareti metalliche interne stanno

separate tra loro, isolate ed involte da un grosso strato di materia coibente, il quale esteriormente è protetto da un'armatura metallica che lo racchiude. Per mezzo poi di opportuni conduttori accade che, dando una carica all'interna parete di una metà della cassa, si provoca la carica opposta nell'altra metà, mercé i settori metallici del disco ruotanti in prossimità di una delle loro faccie, poichè essi successivamente si elettrizzano per induzione comunicando col suolo mentre passano per l'una e si scaricano poi sull'altra, come si è detto pel duplicatore. E così continuando si aumentano man mano le contrarie tensioni delle predette casse e di conseguenza quelle pure opposte di due settori passanti contemporaneamente per le due parti della cassa. E, fatta la carica, si può avere una continuata serie di scintille assai copiose, la cui quantità e tensione va crescendo colla velocità di rotazione e colla prossimità del disco alle armature induttrici. Basta una piccolissima carica per provocare tutta questa serie di fatti.

51.^a Nell'*elettromotore ad induzione* di Holtz havvi un disco di vetro rotante intorno ad un asse, con una faccia assai prossima ad altro di un disco di vetro fisso, munito di due finestre. Ad un lato di queste è applicata una lista di carta conduttrice, che fa ufficio d'armatura, alla quale si collega una listerella terminante a punta, pure di carta, rivolta verso il mezzo della finestra. In opposizione alle due armature di carta, e dalla banda opposta del disco ruotante, stanno alcune punte metalliche che fan capo a due conduttori isolati, i quali fanno ufficio di elettrodi ed insieme di spinterometro.

Il processo della carica è come nel duplicatore di Belli. Data una carica ad una delle armature, per mezzo delle induzioni provate dal disco mobile, si comunica la carica opposta all'altra armatura, e quindi poi, col girare assiduo dell'un disco, si rin vigoriscono le opposte tensioni delle armature e quelle ancora dei conduttori comunicanti con le punte. Da questi si ha così una rapida serie di scintille, anche a forte tensione ed a molta quantità così da caricare prestamente una capace boccia di Leida.

Chiudendo in una cassa a vetri, con materia essiccante, i predetti due dischi, siccome io feci (1867), si riduce molto più pronta ed efficace codesta macchina, sottraendola all'influenze nocive dell'umidità e del polviscolo atmosferico, talchè dà effetti, massime per quantità, assai più notevoli di quelli dati da un elettromotore a strofinio, a cagione segnatamente della rapidità grande di movimento che può imprimersi al disco, non v'essendo altro attrito da vincere che quello degli assi di rotazione.

Devesi però vincere anche la resistenza promossa dalla opposta

tensione che si determina man mano fra le parti prospicienti dei due dischi. Questa resistenza, che misura la forza elettromotrice, può facilmente riconoscersi notando la differenza negli sforzi necessari a mantenere in rotazione il disco con una data velocità, secondo che la macchina opera come elettromotore, oppure è inattiva (cioè non elettrizzata). Però la energia elettrica della macchina, la quale è proporzionale al lavoro utile che così si produce, crescerà e col diminuire la distanza tra i due dischi e più coll'aumentare la velocità di rotazione d'uno di essi.

52.^a E, sotto questo aspetto, si mostra più efficace e più semplice dell'anzidetto un altro elettromotore ad induzione dello stesso Holtz. Sono due dischi, i quali ruotano entrambi, ma in opposto verso, coi loro assi in una stessa retta, assai vicini fra loro, senza finestre,

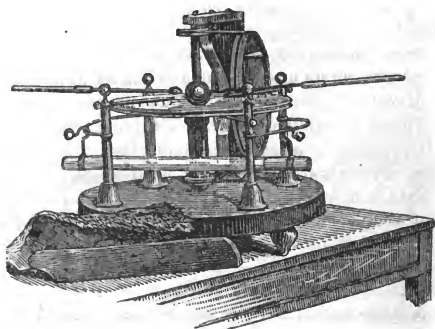


Fig. 239.

senza armature, e solo muniti di due coppie di pettini, disposti in modo alterno, l'uno al disopra del disco superiore, l'altro al disotto dell'inferiore, ed a 90° l'uno dall'altro; questi pettini poi comunicano tra loro a due a due, ma ancora in modo alterno, cioè uno dei superiori con altro degli inferiori, a 90° da esso; ed essendo nel resto bene isolati, con due bracci a snodo che ponno variamente accostarsi, costituiscono gli elettrodi. Per la carica iniziale di questa macchina, basta presentare una lamina di gomma indurita, già strofinata, presso la faccia esterna d'unodei dischi, ma di contro al pettine che guarda la faccia pure esterna dell'altro disco, nel mentre si tengono accostati gli elettrodi e muovonsi i dischi. Per induzione della lamina, polarizzandosi l'aria e i dischi interposti, il pettine sottostante si

elettrizza oppostamente, talchè l'altro pettine congiunto con esso agirà come induttore in contrario senso su le parti dei dischi che sottopassano ad esso, le quali, alla lor volta, agiranno su l'altra coppia di punte; e così le cariche e le tensioni andranno crescendo nei due elettrodi, sicchè, discostando i rami dello spinterometro, s'avrà rapidissima serie di scintille a forte tensione, a guisa d'un filetto di luce rosso-porporina. Se però i due elettrodi si faranno comunicare colle armature di una boccia di Leida molto capace, o meglio colle armature interne di due boccie, le cui armature esterne comunichino fra loro, s'avrà allo spinterometro una serie di scintille molto meno frequenti, ma vivide di luce e fragorose assai.

53.^a Varie altre forme di macchine ad induzione furono proposte da Bertsch, da Toepler e da altri. Carré pensò di evitare la carica ini-

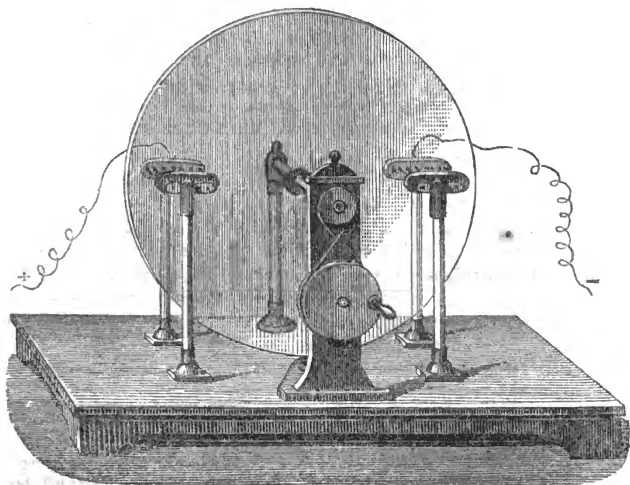


Fig. 240.

ziale, aggiungendo al disco indotto un disco direttamente strofinato. Ma può anche bastare un disco solo, come usò Kundt, e come feci io (1869).

Anzi in questa mia macchina, con uno stesso disco si hanno uniti due elettromotori, l'uno a strofinio, l'altro ad induzione. Contro una delle facce del disco evvi un piccolo cuscino strofinatore da una banda

ed un pettine dall'altra, d'uno stesso diametro, i quali sono sorretti da lunghi bastoni isolanti, e per mezzo di due reofori li fanno comunicare coi due rami d'uno spinterometro (Osserv. 13.^a). Di tal modo si ha un elettromotore a strofinio molto semplice ed efficace.

Se invece si congiungono collo spinterometro due altri pettini che stanno volti all'altra faccia del disco, l'uno dirimpetto al cuscino e l'altro a 180° dal primo, e similmente sorretti da verghe isolanti, girando il disco si avrà una bella serie di scariche d'induzione, provocata indirettamente ancora dallo strofinio del cuscino contro l'opposta faccia del disco, ma direttamente dall'induzione che l'elettrizzazione di essa esercita su i due pettini che stanno al di quà e che per l'uno è contraria di segno a quella esercitata dall'altro (la parte del vetro già emersa dal cuscino). Se poi i due rami dello spinterometro si faranno rispettivamente comunicare con due capaci boccie di Leida, le cui armature esterne comunichino tra loro, invece di un lungo e quasi continuo arco scintillante, si avranno scintille di non molta tensione, ma molto vivaci, e succedentisi a non lunghi intervalli.

Leggi delle cariche dei condensatori.

54.^a Caricando un condensatore, semplice o composto che sia, si riconoscono le seguenti leggi: *a) la tensione elettrica nelle facce interne delle armature risulta prossimamente proporzionale alla carica, ossia alla quantità di elettricità ad esse comunicata; b) la capacità è in ragione diretta della estensione superficiale della minore armatura, purchè ad ogni parte di questa si trovi contrapposta l'altra armatura; c) a pari natura del coibente, la capacità è in ragione inversa della sua grossezza; d) la capacità ne' varii coibenti è direttamente proporzionale al loro potere induttivo (Osservazione 27.^a).*

Scariche dei condensatori.

55.^a Quando le opposte tensioni in due conduttori esercitanti fra loro reciproca induzione giungono a tale intensità, da vincere la resistenza del mezzo interposto, neutralizzandosi scambievolmente, dicesi avvenire *una scarica elettrica*, gli effetti della quale variano secondo la natura del mezzo interposto.

Se l'elettricità propagasi per de' corpi conduttori, succede in questi puramente un aumento di temperatura, senza azioni chimiche nè scintille: allora la scarica dicesi *conduttiva* o *per conduttività*. Vale a tal uopo rammentare l'osserv. 15.^a

Se invece l'elettricità attraversa un coibente od un imperfetto conduttore, succede in questo uno spostamento di molecole, d'ordinario accompagnato da rumore e da luce e talvolta da azioni chimiche, e la scarica è detta *esplosiva* (*disruptiva* secondo Faraday). Finalmente se l'elettricità, attraversando alcuni liquidi conduttori composti, produce in essi, senza scintilla, qualche decomposizione, accade la scarica detta *elettrolitica* da Faraday.

Propriamente non può farsi un'assoluta distinzione fra corpi conduttori e coibenti, poichè ogni corpo presenta una qualche resistenza alla propagazione elettrica per conduttività. *Tanto i coibenti quanto i conduttori, sotto la influenza d'un corpo elettrizzato, si polarizzano molecularmente.* Ma nei primi richiedesi una tensione polare molto maggiore che negli altri, onde succeda la scarica fra le molecole contigue e cessi così il loro stato polare colla neutralizzazione delle opposte tensioni: epperò nei primi la detta resistenza è molto maggiore che negli altri.

Si nei conduttori che nei coibenti la trasmissione elettrica per conduttività corrisponde ad una serie di scariche, succedentisi più o meno rapidamente fra le contigue molecole, che già prima eransi costituite in opposta tensione elettrica. *Pertanto l'induzione o la polarizzazione molecolare è il fatto generale; mentre la conduttività o la coibenza esprimono solo il vario grado di resistenza che opponesi nei differenti corpi alla scarica fra le contigue molecole polarizzate.*

La scarica esplosiva attraverso un coibente avviene in seguito ad una soluzione di contiguità nelle sue parti, dove la polarizzazione è più forte ed insieme minore la resistenza allo scostamento delle molecole, provocato dalla stessa polarizzazione; sicchè poi l'elettricità si trasmette quasi liberamente (come nell'aria diradata) nel vano di tali fessure. Se la carica è forte, se uno dei conduttori fra i quali succede la scarica esplosiva è acuminato, in luogo d'una sola fessura se ne formano parecchie, e si ha lo sprazzo od il fiocco, più diffuso ma meno brillante della scintilla. Con riguardo poi all'ineguale resistenza che rappresentar devono le varie porzioni dell'aria polarizzate a diverse tensioni, si comprende come la scarica luminosa segua d'ordinario linee serpeggianti, il che accade anco per ciò, che ogni punto percorso successivamente dalla scarica diventa nuovo centro d'azione induttrice.

Quando la scintilla a forte tensione procede fra corpi metallici, si riconosce in essa il trasporto di particelle metalliche fuse od ardenti: sono ardenti le particelle più esterne in contatto coll'aria. Anzi se i due metalli fra cui scocca la scintilla sono di diversa natura, si riconosce avvenire il trasporto di entrambi in opposta di-

rezione (come osservò Fusinieri fra argento e rame, fra oro ed argento): quasi che la scintilla fosse il risultato di due opposte correnti di particelle incandescenti.

56.^a Fatta la carica ad un coibente armato, lo si può scaricare in vari modi. Della *scarica riunita* od esplosiva s'è detto sin qui. Si può averne la *scarica suddivisa*, cioè una serie di minute scintille, facendo arco mediante un conduttore imperfetto, e, se questo è ancor meno conduttore, tale serie di scariche, invece d'esser luminosa, si limiterà ad una specie di sibilo, che continuerà un tempo relativamente più lungo. Ma interessa meglio considerare la *scarica per alternanza*.

Abbiassi un condensatore d'Epino, caricato colla macchina Nairne nel modo sopradetto, stando le armature a contatto colla lastra, e siansi cautamente e successivamente tolti i due reofori di comunicazione cogli elettrodi. I due elettrometri esterni daranno deviazioni corrispondenti a tensioni, relativamente, molto deboli, rispetto a quelle della carica prodotta sulle facce esterne della lastra, massime se il vetro sarà ben coibente e sottile. Toccando l'armatura A con una verghetta comunicante col suolo, il suo elettrometro si ridurrà a 0°, ma l'altro dell'armatura B si eleverà ad un dato grado: indi si tocchissimilmente quest'ultima armatura, il cui elettrometro si ridurrà allo zero, mentre quello di A si alzerà ad un grado quasi eguale (supposta pari la sensibilità dei due elettrometri). E così, alternando successivamente i toccamenti ora con A ed ora con B, si alterneranno anche le indicazioni dei corrispondenti elettrometri, con solo una lieve diminuzione da una ad altra volta nelle loro deviazioni, tanto che, a ridur queste nulle in entrambe le armature, si richiederà una serie molto lunga di toccamenti alternanti. Imperocché, facendo comunicare col suolo soltanto l'armatura A, essa cederà al medesimo solo quella parte della elettricità ad essa comunicata che non è rattenuta in A dall'azione attrattiva esercitata su di essa dall'elettricità eteronima comunicata a B; ed intanto questa spiegherà tensione all'esterno, appunto in corrispondenza a quella porzione della elettricità di B che ora non è più condensata all'interno per la cessata azione attrattiva della elettricità di A dissipatasi nel suolo. E così analogamente si dica per l'effetto del tocco fatto sull'armatura B, attesa la reciprocità delle azioni induttrici e condensanti delle due opposte elettricità promosse colla carica in A ed in B.

Si potrebbero produrre sensibili scariche alternate, toccando alternativamente A e B coi due bottoni di due bocce di Leida, di capacità tra loro eguali, le cui armature esterne comunicassero col suolo, oppur tra loro. Però, in tal modo, le scariche parziali cedute da A e da B passerebbero nell'armature interne delle bocce pre-

dette, a crescerne mano mano la carica di condensazione. E perciò ancora in questo caso le armature A e B cesserebbero di cedere elettricità alle bocce quando si fossero ripartite le loro cariche iniziali tra quelle e le armature di queste, sì da spiegare tensioni esterne eguali, in relazione alle rispettive loro capacità.

S'è fatta applicazione di queste scariche alternate a produrre il così detto *scampanio elettrico*. L'asta dell'armatura interna porta una campanina, ed altra è portata da un'asta comunicante coll'armatura esterna e situata alla medesima altezza. Tra le due campanine andrà oscillando una sferetta conduttiva, sostenuta da un filo serico, a livello dei loro orli, poichè essa trasporterà successivamente da una ad altra armatura la eccedenza della carica, che man mano si farà libera in quella per la perdita fatta da questa.

57.^a Ma ad intendere compiutamente il fenomeno delle scariche parziali convien esaminare un po' più in particolare cosa accader debba anche nella scarica istantanea ed esplosiva d'un coibente armato, che supporremo caricato molto oltre il limite della sua resistenza elettrica e quindi polarizzato permanentemente per comunicazione (Osserv. 38.^a).

Comunemente si ritiene che la scarica d'un coibente armato si riduca ad una semplice neutralizzazione delle due opposte cariche comunicate alle armature, le quali, per la massima parte, eran pene-

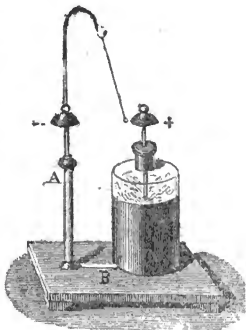


Fig. 241.

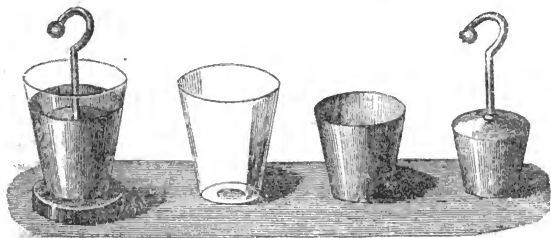


Fig. 242.

trate nelle facce del coibente stesso. E si citano a prova di ciò, dapprima i residui della carica (Osserv. 42.^a), poi, e soprattutto, l'espe-

rienza di Franklin della boccia ad armature mobili. Poichè con questa, fattane la carica, postala poi su un sostegno isolante, levatene cautamente e separatamente le due armature si d'averle scaricate; indi, ricostituita la boccia col ricollocarne a luogo, ancora successivamente, le armature, e finalmente fatto arco fra queste, s'avrà tuttavia una forte e vivida scarica esplosiva.

Questa esperienza si ripete molto più agevolmente con una lamina ben piana di ebanite, alla quale si applicano due grossi dischi di zinco, muniti di isolanti, caricatala nel modo indicato nella osser. 43.^a Il risultato, veduto nel suo insieme, è lo stesso; ma qui si ha facil modo di analizzarlo, procedendo così:

Fatta la carica del condensatore, si levino le armature coi rispettivi isolanti, le si scarichino per bene e le si riapplichino. Si prenda una bocchetta non molto capace, e tenendone a mano l'armatura esterna si tocchi col bottone della interna il disco metallico superiore: s'avrà, nel momento del contatto, una breve scintilla. Ritirandola, la si trova elettrizzata omonimamente alla carica comunicata alla faccia superiore dell'ebanite, ma, ritirando poi il disco toccato, lo si trova fortemente carico di elettricità eteronima: tanto che, se si portano a contatto tra loro disco e bottone, si neutralizzeranno quasi completamente le loro cariche, rimanendo solo un piccolo eccesso di omonima. Dunque questo solo rappresenta la elettricità ceduta dall'ebanite; le due restanti cariche opposte ed equivalenti, che si neutralizzarono tra loro, rispondono ad un semplice fatto d'induzione, prodotto dalla faccia elettrizzata superiore del coibente, come nella esperienza d'Epino (Osserv. 16.^a b)). Analogo risultato, ma coi segni invertiti, si ottiene esplorando similmente l'altro disco.

Più concludente è quest'altra prova. Abbiansi due bocchette di Leida d'eguale capacità, le cui armature esterne sono tenute a mano. Coi loro bottoni si tocchino, in modo alterno, or il disco superiore ed ora l'inferiore, e, dopo un certo numero di questi contatti alternanti, si ritirino insieme il disco superiore col bottone della bocchetta che lo ha ripetutamente toccato, e ancora non apparirà in essi che un debole eccesso di elettricità omonima a quella della faccia superiore dell'ebanite; laddove, se si ritirano separatamente, levando prima la boccia poi il disco, riescono entrambi fortemente elettrizzati, ma in opposto verso, appunto ancora per induzione. Talchè, ancor dopo questi vari maneggi, riposti a luogo i dischi metallici, e fattili comunicare tra loro, o direttamente con un arco conduttivo isolato, oppure indirettamente col contatto contemporaneo di due bocce molto capaci, le cui armature esterne comunichino tra loro, s'avrà tuttavia una forte scarica esplosiva. Ora, con quest'ultimo modo si riconosce: a) che le cariche prese dalle due armature

interne sono omonime a quelle delle rispettive facce dell'ambiente, e quindi opposte tra loro, ma sono equivalenti, tanto che si neutralizzano portando a contatto i bottoni delle due bocce; ^(b) che i dischi rimasero fortemente carichi di elettricità opposte anche a quelle delle bocce, e quindi opposte anche a quelle delle facce del coibente, tanto che portando a contatto uno di questi dischi col bottone della corrispondente boccia, rimane in questa solo una parte non rilevante della sua precedente carica.

Pertanto la scarica esplosiva d'un coibente armato corrisponde ad una doppia corrente elettrica, l'una di neutralizzazione delle elettricità regredienti dal coibente alle armature, e l'altra di verso opposto, corrispondente alla doppia e concorde induzione che le due facce del coibente polarizzato esercitano sui dischi e su l'arco che li congiunge (Osserv. 37.^a).

La sussistenza di queste due opposte correnti nella scarica esplosiva è manifestata direttamente da ciò, che, interponendo nell'arco un galvanometro a filo lunghissimo i cui capi per mezzo di sferette metalliche sono recati rapidamente a contatto dei due dischi, l'ago accennerà una piccola e breve oscillazione, quasi fosse sollecitato da due impulsi contrarie. Laddove, rendendo duratura e lenta la scarica, coll'applicare agli estremi dell'arco, in luogo delle palline, due finissimi aghi, i cui vertici sono tenuti a poca distanza dai dischi, l'ago devierà di non pochi gradi, indicando una corrente diretta nel senso delle cariche date prima ai dischi: poichè in tal modo riesce favorita, col lungo tempo d'azione, il regresso delle elettricità date al coibente, e svingorita invece d'assai l'azione induttrice da questo esercitata sui dischi, la quale richiede una rapida variazione per produrre una corrente indotta abbastanza intensa da palesarsi al galvanometro (a).

Queste osservazioni s'accordano con quelle di Feddersen e di Palzow su la scarica oscillatoria e doppia delle batterie elettriche.

58.^a *La scarica d'un coibente armato di molta capacità e caricato a forte tensione produce vari e rimarchevoli effetti termici, meccanici e fisiologici.*

Un sottil filo di platino o di ferro vien reso rovente e talora fuso, ove faccia parte dell'arco traduce la scarica fra le due armature; similmente vengono fuse e volatilizzate le fogliette metalliche d'oro, d'argento, ecc.; i liquidi combustibili, come l'alcole e l'etere, facilmente s'accendono. Un cartone, anche grosso, viene traforato, una lastra di vetro è traforata o spezzata, interponendo

(a) Questo argomento venne svolto in una mia memoria su la scarica dei coibenti armati, letta all'Is. Lomb. nel dicembre 1875.

questi corpi fra due punte attraversate dalla scarica d'una boccia molto capace.

La scarica d'una sola boccia, pur caricata a debole tensione, vale a provocare un'involontaria contrazione muscolare in una persona

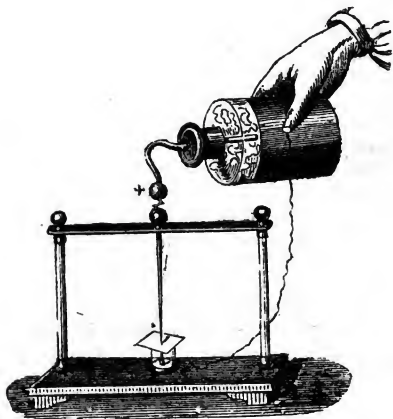


Fig. 243.



Fig. 244.

le cui braccia ed il tronco faccian parte dell'arco scaricatore. Le scariche delle batterie possono promuovere così violente commozioni nei piccoli animali, da ucciderli.

Nell'aria rarefatta colla macchina pneumatica, la scarica succede anche per notevoli distanze tra i conduttori in opposta tensione, ed è accompagnata da una luce diffusa e poco viva. Quindi l'aria, col diradarsi offre minor resistenza alla conduttività elettrica. Ma vedremo poi che il vuoto assoluto non presenta più alcuna conduttività.

Elettricismo atmosferico.

§ 310. *Il globo terracqueo, per interne sue condizioni, è in continuo stato di tensione elettrica, opposta a quella dell'involgente mosfera.*

Le nubi temporalesche sono elettrizzate e d'ordinario a forte tensione. Il fulmine è puramente una scarica elettrica esplosiva fra due nubi oppostamente elettrizzate, e fra una nube ed il suolo.

Una nube elettrizzata provocherà, per induzione, lo stato elettrico contrario nelle nubi circostanti, non che nelle nubi e nel suolo sottostante: e quindi, per reciproca induzione, cresceranno le opposte tensioni fra le parti affacciate, sì da determinare la scarica. Le parti del suolo per le quali codesta reciproca induzione riescirà più forte saranno quelle eminenti sulle circostanti, e quelle formate da sostanze meglio conduttrici e meglio comunicanti col suolo umido: epperò esse saranno più facilmente colpite dal fulmine. Il lampo ed il tuono che accompagnano la scarica fulminea sono simili, all'infuori dell'intensità, alla luce ed al rumore concomitanti le scintille elettriche di poderose macchine e di forti batterie (a). E sono pur tra loro somiglianti gli effetti calorifici e meccanici dei fulmini e delle forti scariche elettriche.

L'americano Franklin fu il primo ad ammettere ed a verificare (nel 1752) la completa analogia tra una scarica fulminea ed una scarica elettrica. Egli immaginò altresì di preservare gli edifizi dal fulmine, mercè i così detti *parafulmini*. Ecco un cenno su la forma e disposizione che ad essi convien dare.

Alcune aste di ferro dolce, alte circa 7 metri, e terminate da una verga di rame (b) indorato (per evitarne l'ossidazione), il cui estremo è foggiato a cono, si dispongono sul colmo dei tetti, sopra appositi

(a) Il lungo serpeggiare del lampo e la lunga durata del tuono provengono da che ogni scarica fulminea, che ci par continua, corrisponde ad una serie numerosissima di distinte scariche, succedentisi repentinamente e propagantisi da una ad altra parte d'una nube, e da una nube ad un'altra per lunghissimo cammino: epperò un osservatore percepisce successivamente i rumori delle scariche mano mano più lontane. Nei luoghi montuosi codesti rumori vengono anche ripetuti per riflessione dai versanti variamente inclinati de' monti, § 148).

(b) Fino a questi giorni si adattavano sottili coni di platino alle estremità delle aste parafulminee. Ma torna più conveniente usare coni meno acuti di argento, oppure di rame; poichè questi due metalli superando di molto in conduttività elettrica e termica (p. 320) ed anche in caloricità specifica (p. 331) il platino, subiranno un assai minore aumento di temperatura nell'atto che traducono la corrente fulminea. L'argento legato al rame ed anco il rame puro difficilmente si ossidano, lorchè siano superficialmente dorati. E questi metalli, oltre che costano meno del platino, sono anche meglio arrendevoli ai lavori: con che vien favorita la diffusa applicazione dei parafulmini. Notisi poi che se il rame ha qualche svantaggio sull'argento quanto a conduttività, offre però notevole vantaggio quanto a caloricità, pure calcolando questa a volumi eguali ne' differenti metalli. La parte conica dell'asta in rame suolsi fare di 3 cent. d'altezza sopra 2 di diametro nella base.

muricciuoli, a distanza non maggiore di 12 metri l'una dall'altra. Codeste aste sono tra loro collegate da una catena conduttrice, formata da 3 a 4 fili di rame, ravvolti a guisa di fune, sicchè presentino una sezione trasversale di circa 12 millimetri quadrati.

Ogni due aste, almeno, richiedesi uno scaricatore, cioè una fune metallica come la precedente, che comunica colla base dell'asta, e seguendo l'esterna parete del fabbricato, spingesi sino al suolo, terminando, possibilmente, nell'acqua d'un pozzo o d'una fonte, oppure in un terreno profondo e costantemente umido. Per impedir poi l'ossidazione dello scaricatore entro il suolo, lo si fa passare per un tubo riempito di carbone pesto. Dove non siavi acqua perenne, conviene terminare lo scaricatore in vari rami o scaricatori secondari, che si diffondano in diverse direzioni entro il suolo umido.

Ancor quando il cielo è sereno od ingombro di poche nubi non temporalesche, l'atmosfera è sempre in istato elettrico, e quasi sempre positivo, e più distintamente negli strati più elevati di essa. Laonde, per induzione, il suolo, le acque ed i corpi che stanno su la superficie della terra sono di continuo in istato elettro-negativo.

A ciel sereno la tensione varia di continuo, e colle ore del giorno e colle stagioni, con una singolare relazione con le variazioni nell'umidità e temperatura dell'aria, come vedremo qui avanti.

Codesto stato elettrico dell'atmosfera fu primamente studiato in modo scientifico dal Becaria (1753) e dal Volta. Lo si rileva facilmente nei luoghi aperti, lungi dalle case e dagli alberi, adoperando un elettroscopio munito di lunga asta metallica terminante in un piccol globo, sollevando rapidamente d'incirca un metro, oppure lanciando in alto un dardo, od un palloncino, congiunto per un lungo e flessibil filo conduttore ad un elettroscopio, oppur anco accendendo una candelina in cima ad una lunga asta metallica acuminata, congiunta pure con un elettroscopio: la fiamma, siccome conduttrice, favorisce la trasmissione dell'elettricità atmosferica all'asta metallica.

Oggidi sono assai usati gli elettrometri di Peltier, di Secchi e di Palmieri per codeste osservazioni. Per quest'ultimo, che è il più usato in Italia, s'esplora l'elettricismo atmosferico col far salire rapidamente d'oltre un metro un conduttore isolato che comunica con un elettroscopio di Palmieri (pag. 518) e con altro di Bohnenberger. Il primo dà la misura approssimata della tensione coll'arco di prima deviazione; l'altro dà secondo s'ha la natura dello stato elettrico.

Se talora, coll'atmosfera serena, si hanno segni d'elettricità negativa, ciò proviene il più spesso da induzione. Ad esempio, sotto un alto e frondoso albero, e presso una cascata d'acqua, l'elettro-

scopio potrà accennare uno stato elettro-negativo, quello cioè che è proprio del suolo e de' corpi con esso comunicanti. Così accade, siccome nota il Palmieri, quando un nembo si rompe in pioggia, che all'intorno di esso, a qualche distanza, si hanno segni di tensione negativa.

Le variazioni diurne nell'induzione elettrica dell'atmosfera a ciel sereno presentano due periodi, l'uno corrispondente alle ore di giorno, l'altro a quelle di notte, e le ore dei massimi e dei minimi variano colle stagioni.

L'elettricismo atmosferico presenta poi nel corso dell'anno un grande periodo di variazioni, con un massimo nel verno ed un minimo nell'estate.

Codesti periodi differiscono però sensibilmente, in ordine di grandezza e di tempo, nelle varie località. Mostrano poi dovunque un diretto rapporto colle variazioni della umidità atmosferica.

Quanto poi all'origine di codesta elettricità propria dell'atmosfera e della superficie terrestre, molte ipotesi furono proposte, ma finora nessuna è ben accertata. Fu creduto che l'evaporazione dell'acqua contenente in soluzione dei sali e delle materie organiche rendesse in istato elettrico contrario i vapori e la dissoluzione. Ma Gauguain (1854) provò che l'evaporazione tranquilla d'una qualunque dissoluzione non dà luogo ad alcun segno elettrico, se non interviene uno strofinio del liquido evaporante contro le pareti del vaso.

Però alcune ricerche del Palmieri tendono a mostrare che lorchando il vapore acqueo si condensa in acqua, si promove elettricità positiva, e che promovesi all'incontro elettricità negativa, quando l'acqua si risolve in vapore. Quindi, a suo credere, nella evaporazione non s'avrebbe che la causa remota della elettricità atmosferica, mentre la causa prossima di questa starebbe, sia nell'addensamento dei vapori acquei in forma vescicolare, sia nel loro ritorno alla forma liquida. Ond'è che la tensione positiva dell'atmosfera cresce coll'umidità relativa, e più colla formazione della rugiada e delle nebbie, e colla caduta della pioggia, della grandine e della neve.

Si suppone che l'ineguale temperatura degli strati atmosferici provochi tra essi una opposta tensione elettrica (positiva nei più freddi); ma di ciò non si ponno finora addurre prove dirette.

Delarive immaginò che nella corteccia terrestre, dove la parte fluida infuocata confina colla parte già solidificata, si verifichi una azione chimica, in opera specialmente delle infiltrazioni dell'acqua salsa dei mari, per cui questa assume la tensione positiva ed il suolo solido la negativa: epperò i vapori sorgenti dalle acque marine, e soprattutto dalle regioni tropicali, diffondendosi nell'atmosfera, le arrecano la propria tensione positiva. Codesta diffusione

sarebbe operata specialmente dalle alte correnti alisee, che procedono dall'equatore ai poli, e che qui, abbassandosi verso il suolo, colla neutralizzazione delle opposte elettricità, dell'atmosfera e del globo (pag. 578), produrrebbero le aurore polari. Invece i vapori sorgenti dal suolo umido dei continenti, colla tensione negativa che ricevono dal suolo istesso, tenderanno a neutralizzare direttamente l'elettricità positiva dell'aria, e ciò tanto più efficacemente quanto più copiosa sarà la temperatura della superficie evaporante.

E da qui il decremento nella tensione positiva dell'atmosfera dal verno alla state, e dal levar del sole alle ore più calde d'ogni giorno; come nel seguente specchietto che porge il risultato medio delle osservazioni fatte per un ottennio a Moncalieri ed a Napoli.

	MONCALIERI			NAPOLI	
	9 ^h mat.	3 ^h pom.	3 ^h ant.	9 ^h ant.	3 ^h pom.
Inverno	23.5	17.5	20.0	40.6	30.3
Primavera	15.1	13.4	14.3	27.7	25.5
Estate	13.5	11.4	15.0	23.7	17.2
Autunno	17.4	12.1	17.0	33.9	27.4
ANNO	17.4	13.6	16.6	31.4	25.1

Però queste variazioni ponno facilmente interpretarsi anche colla predetta ipotesi di Palmieri, poichè ogni aumento nella temperatura dell'aria tende a diminuire la condensazione del vapor acqueo atmosferico (p. 411). D'altronde i precedenti dati mostrano un'intima relazione fra l'umidità relativa dell'atmosfera e la sua tensione elettrica.

CORRENTI ELETTRO-CHIMICHE.

§ 311. Ancor qui, non convenendo seguire lo sviluppo istorico della scienza, ci limiteremo ad accennare anzi tutto alcuni de' primi e più importanti trovati.

Sulzer, filosofo svizzero, in un libro intitolato: *Nouvelle théorie*

des plaisirs (1767), accenna comè rimarchevole quest'esperienza. Un pezzo d'argento ed altro di piombo, messi a contatto, ed approssimati alla lingua presentano un sapore piccante, che non si riscontra in ciascuno di essi, preso separatamente.

Luigi Galvani, professore d'anatomia a Bologna, in occasione d'alcune sue indagini su l'influenza dell'elettricità nelle contrazioni muscolari, riconobbe (1790) che una rana, spogliata della pelle e delle

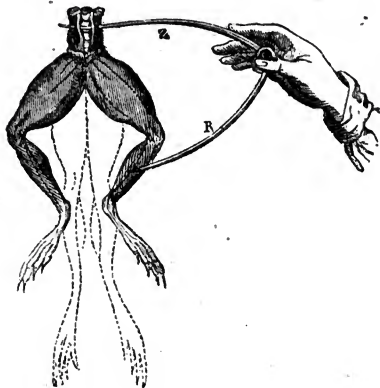


Fig. 245.

interiora, e troncata poco sotto gli arti anteriori, in modo che un breve tratto della spina dorsale rimanga congiunto agli arti posteriori soltanto per mezzo dei nervi crurali o lombari, presenta distinte contrazioni, lorchè si applicano insieme al muscolo ed al nervo gli estremi d'un arco metallico, segnatamente se questo è fatto di due metalli diversi.

Suppose quindi che il muscolo, per azione organica, si costituisca in opposta tensione elettrica nelle sue parti esterna ed interna, l'ultima delle quali trasmette il proprio stato elettrico al nervo.

Le molte esperienze descritte con assai diligenza nella sua dissertazione *De viribus electricitatis in motu-musculari* (1791) suscitavano un vivo ardore di studi in molti scienziati d'Italia, di Francia e di Germania.

Alessandro Volta, professore di fisica a Pavia, fu tra i primi a ripetere siffatte sperienze ed a variarne opportunamente le condizioni.

In su le prime (aprile 1792) convenne col Galvani trattarsi qui d'una elettricità propria degli animali.

Ma poco dopo (agosto 1792) se ne ricredette, e ritenne esser l'elettricità provocata dall'arco stesso metallico, dovendo questo essere formato o da due metalli eterogenei, ovvero da un solo metallo le cui estremità siano in diverse condizioni o di temperatura o di pulimento, oppur siano state bagnate da diversi liquidi: e quest'elettricità artificiale operare come uno stimolo fisico su la rana, la quale fa opera di elettroscopio molto sensibile.

E quindi suppose una peculiare *forza elettromotrice* nei vari metalli, manifestantesi però solamente col contatto tra metalli o eterogenei o fisicamente dissimili.

Ma il Valli (1794), in sostegno dell'opinione di Galvani, mostrò contrarsi la rana, anche ponendola sul mercurio affatto omogeneo, e pur senza intermezzo d'alcun metallo: facendo toccare direttamente un nervo lombare col muscolo od un arto posteriore.

In allora il Volta generalizzò il suo principio, asserendo promuoversi elettricità pel contatto di due corpi conduttori eterogenei, siano essi metallici o sieno liquidi: però più energica essere l'azione nei primi, che disse *elettromotori di prima classe*, riservando ai liquidi il nome di *conduttori umidi* o di *elettromotori di seconda classe*.

Una tra le più rimarchevoli esperienze del Volta, è quella fatta con un disco di rame ed altro di zinco, muniti entrambi di un manico isolante, e che poi, combaciati tra loro, stando l'uno in comunicazione col suolo per mezzo di un dito umido, l'altro con un elettroscopio a condensatore, danno indubbi segni di elettricità, positiva nello zinco e negativa nel rame (a).

Fabbroni nel 1792 attribui all'azione chimica del liquido sul metallo più ossidabile la fonte dell'azione stimolante o provocatrice delle contrazioni nella rana.

Dal Negro di Padova, sino dal 1802, emise l'opinione, da lui appoggiata con molte esperienze, non il semplice contatto tra due corpi eterogenei, ma una decisa azione chimica tra essi verificantesi, essere la condizione promovitrice dell'elettricità detta voltiana.

Questa dottrina, sostenuta anche da Parrot, fu poi sviluppata e confermata segnatamente dagli studi di Delarive, Faraday e Matteucci.

Ed anco la dottrina d'una vera elettricità animale, propugnata da Galvani, Aldini e Valli, fu confermata dagli ingegnosi studi di Nobili, Matteucci e Dubois-Reymond.

(a) Con un elettroscopio molto sensibile a pile secche (pag. 517) ponno aversi più direttamente questi segni, col far arco conduttivo fra le facce esterne dei due dischi mentre stanno combaciati, e collo staccarli di poi e presentarli successivamente all'elettroscopio.

Rimane tuttavia al Volta il vanto d'avere dimostrata la produzione d'elettricità col contatto tra corpi eterogenei, e d'avere inventata (1800) la pila, avendo egli provato crescere la tensione polare in una serie di coppie elettromotrici, succedentisi sempre collo stesso ordine.

Esporremo però la teoria di questo mirabile stromento, attenendoci alla dottrina chimica, siccome quella che è meglio avvalorata dall'insieme di codesti fatti.

Elettromozione chimica.

§ 312. *Quando due corpi eterogenei, suscettivi di reagire chimicamente tra loro, siano elettro-conduttivi e vengano tra loro congiunti per mezzo di altro corpo meglio elettro-conduttore, la reazione chimica ha luogo con caratteri speciali, per cui può dirsi ordinata o meglio orientata, promuovendosi e mantenendosi nel circuito di questi corpi conduttivi ciò che dicesi una corrente voltiana.*

Questa proposizione riassume molte osservazioni:

1.^a *Una lamina metallica, ossidandosi al contatto di un liquido, si costituisce in tensione elettro-negativa; nel mentre il liquido stesso, toccato con altra lamina conduttrice, non però ossidabile da esso, manifesterà la propria tensione positiva. Si avrà così una combinazione voltiana, ossia un elettromotore voltiano, del quale il metallo attivo (ossidantesi) forma, rispetto all'azione chimica interna, l'elemento elettro-positivo, ed il liquido ossidante forma l'elemento elettro-negativo.*

2.^a *Se poi, all'infuori del liquido, si fa arco tra le due lamine con un filo conduttore detto arco interpolare o reoforo, le loro opposte tensioni tendendo a neutralizzarsi, si avrà per l'arco stesso scarica conduttiva. Allora, rispetto all'esterno dell'elettromotore, la porzione non immersa della lamina conduttrice inattiva costituisce il polo od elettrodo positivo, mentre la lamina attiva, che si ossida, costituisce colla sua parte emergente dal liquido il polo od elettrodo negativo.*

3.^a *Però la detta azione chimica essendo continua, vi sarà ad ogni istante un nuovo smorimento elettro-negativo nel metallo attivo, ed elettro-positivo nel liquido e nel metallo conduttore e quindi una nuova scarica per l'arco interpolare, e così via.*

Codesta sequela di smuovimenti elettrici e di scariche succedentisi con grandissima rapidità, costituisce ciò che dicesi una corrente elettrica, e l'insieme dei detti corpi, fra i quali avviene quasi una circolazione elettrica continua, dicesi costituire un circuito elettrico.

E questo circuito è detto *chiuso*, quando l'arco essendo a contatto con entrambi i poli, verificasi e mantien^{si} la corrente, ed *aperto*, quando, l'arco toccando una sola delle lamine, sussistono e mantengonsi le opposte tensioni.

4.^a Ciò che più importa notare in un elettromotore a circuito chiuso si è, che le due forze elettriche, continuamente sbilanciate dall'afinità tra il metallo attivo ed il liquido, tendono a riequilibrarsi e si neutralizzano pur sempre, almeno parzialmente, per mezzo dell'arco conduttore.

A circuito chiuso, la corrente continua con eguale intensità, oppure si svigorisce, secondo che l'azione chimica tra liquido e metallo attivo va seguitando con invariata, oppure con decrescente intensità.

5.^a Se anche la seconda lamina, testè ritenuta inattiva e soltanto conduttrice, si ossida entro lo stesso liquido, ma in minor grado dell'altra, si avrà ancora, a circuito chiuso, una corrente elettrica, la cui intensità, ad ogni istante, sarà proporzionale alla differenza d'intensità delle due azioni chimiche. Ciascuna di queste tendendo a produrre e mantenere nel circuito una corrente nel proprio senso, l'una in contrario verso dell'altra, la corrente efficace corrisponde alla risultante delle due contrarie correnti. E ancora in questo caso il polo positivo dell'elettromotore corrisponde alla lamina meno attiva, ed il polo negativo alla più attiva.

Or ecco alcuni sperimenti che varranno a schiarire le precedenti osservazioni.

a) Entro una tazza con acqua distillata peschino, affacciate a poca distanza tra loro e senza però toccarsi, una lamina di zinco puro e ben pulito ed altra di platino. Attesa la possibile ossidazione dello

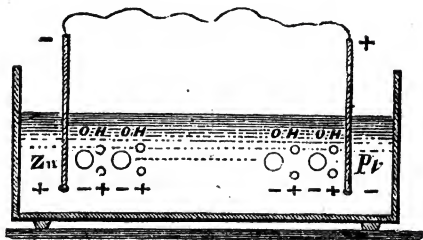


Fig. 246.

zinco, s'avrà così una *combinazione voltiana*, ma non un elettromotore, poichè la lamina conduttiva di platino non eserciterà alcuna

azione, l'azione chimica sarà assai lenta, e l'idrogeno prodotto dalla scomposizione dell'acqua s'attaccherà allo zinco e si svolgerà da esso con estrema lentezza.

b) Si faccia invece comunicare ciascuna di tali lamine metalliche con uno dei capi del filo d'un galvanometro (stromento opportuno a rilevare la sussistenza, la direzione e l'intensità delle correnti voltiane, del quale si dirà innanzi). S'avrà allora un *elettromotore voltiano*, cioè si manifesterà nel filo stesso una corrente diretta dal platino (positivo) allo zinco (negativo); ma sarà così debole da riescire appena sensibile con uno dei più squisiti galvanometri, poichè assai debole è l'azione chimica tra lo zinco e l'acqua; però questa azione-differirà dal caso precedente, per ciò che l'idrogeno invece di svolgersi a contatto dello zinco si svolgerà su la lamina di platino.

c) Si aggiunga all'acqua qualche goccia d'acido solforico, con che la detta azione chimica rendesi molto efficace, ed il galvanometro accenna tosto una corrente assai distinta, ma nel verso istesso della precedente (a). Lo zinco scomporrà l'acqua più attivamente, formando solfato zincico (o piuttosto lo zinco surroga l'idrogeno del solfato idrico), ed il solfato zincico sciogliesi facilmente nell'acqua, e l'idrogeno reso libero, svolgesi presso la lamina di platino (v. pag. 584). Si producono con ciò due correnti, contrarie nel verso: l'una, corrispondente alla formazione del solfato zincico, diretta dallo zinco al platino attraverso il liquido e dal platino allo zinco lunghesso il filo, e l'altra corrispondente alla scomposizione del solfato idrico, diretta dal platino allo zinco attraverso il liquido, e dallo zinco al platino lunghesso il filo.

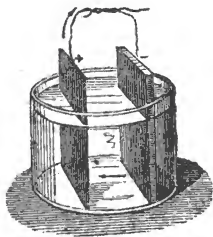


Fig. 247.

Questa doppia azione chimica si compie secondo le proporzioni di

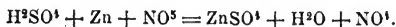
(a) Poichè codesto aumento nell'intensità della corrente è in parte dovuto alla scemata resistenza nel liquido, e taluno potrebbe interamente ascriverlo a ciò solo, giova ripetere la stessa esperienza nel seguente modo. Le due lamine metalliche pescano in due separati bicchierini, contenenti dapprima acqua pura e comunicanti tra loro col mezzo di fili di cotone bagnati. Allora la corrente sarà, come nel primo caso, appena sensibile: indi s'aggiunga una goccia d'acido nel bicchierino contenente la lamina di platino: s'avrà un aumento nella intensità della corrente, ma ben lieve, e appunto attribuibile all'aumentata conduttività di parte del liquido. Ponendo poi nell'altro bicchiere, contenente lo zinco, una simil goccia d'acido, la corrente crescerà ancora d'intensità, ma le molte volte più che non abbia fatto prima.

combinazione dei vari corpi. Ora la prima di esse, corrispondendo alla formazione di un composto meglio stabile di quello iscomposto, è più energica; e quindi la prima corrente essendo più intensa dell'altra, avvi una risultante nel verso della prima, ed è quella direttamente palesata dal galvanometro. Codesta reazione si riassume colla formola:



Ma lo svolgersi ed il trattenersi alcun po' dell'ossigeno e dell'idrogeno nei due elettrodi in platino è già per sé solo un fatto di elettromozione, tendendo questi gas a dare una corrente inversa per una ragione che si vedrà avanti, parlando dell'elettromotore a gas. Questa corrente secondaria, opposta alla primitiva, è chiamata anche corrente di *polarizzazione elettrolitica*.

d) Però aggiungendo alla detta diluzione d'acido solforico alcune gocce d'acido azotico, la detta corrente cresce ancor più d'intensità. Poichè l'idrogeno nascente presso il platino, riducendo l'acido azotico a minor grado d'ossigenazione, cioè trasformandolo in acido ipoazotico, ricompono acqua in contatto col platino, nella stessa quantità per cui esso si scompone presso lo zinco, e così non avvi più svolgimento di idrogeno in sul platino. E le due correnti elettriche corrispondenti alla decomposizione e ricomposizione dell'acqua presso i due metalli elidendosi mutuamente siccome equivalenti e contrarie, rimangono in conflitto soltanto la corrente relativa alla formazione del solfato zincico, e l'altra, opposta, dovuta alla riduzione dell'acido azotico in ipoazotico. Ma quest'ultima corrente essendo molto meno vigorosa di quella corrispondente alla scomposizione dell'acqua, o meglio del solfato idrico, poichè l'acido azotico è composto poco stabile, che facilmente riducesi ad un minor grado d'ossigenazione, ne consegue che la corrente risultante dall'or accennato conflitto è assai più vigorosa di quella risultante dal conflitto più sopra considerato fra le correnti provocate dalla formazione del solfato zincico e dalla scomposizione del solfato idrico. Queste reazioni si compendiano colla notazione seguente:



Così l'aggiunta dell'acido azotico gioverà a menomare l'azione perturbante di polarizzazione dovuta all'azione elettromotrice dell'idrogeno che svolgesi in istato nascente in contatto col platino.

e) Se invece di zinco puro s'adopera zinco impuro del commercio, che contiene particelle di ferro e di cadmio, si osserva che, pur a circuito aperto, lo zinco si scioglie attivamente nella diluzione d'a-

cido solforico, e svolgonsi non poche bollicine d'idrogeno su la superficie dello zinco; e ciò continua, anche a circuito chiuso, quando l'idrogeno svolgesi in maggior copia sulla lamina di platino. Ma se lo zinco del commercio viene amalgamato alla sua superficie, si comporta come lo zinco puro entro l'acido solforico diluito, cioè presenta solo una debole reazione a circuito aperto; ed a circuito chiuso l'idrogeno svolgesi quasi interamente sul platino, e quindi la corrente principale è più intensa.

f) Adoperando poi invece della lamina di platino, la quale non prova azione chimica dalle dette soluzioni acide, una lamina di rame o di ferro, come elemento elettro-negativo dell'elettromotore, la corrente risultante, indicata dal galvanometro, riesce meno vigorosa che usando il platino, e col ferro molto meno che col rame. Il rame subisce qualche ossidazione superficiale, e l'idrogeno aderendo a questa superficie per alcun tempo innanzi svolgersi, la conduttività superficiale della lastra di rame viene alquanto diminuita. Il ferro poi, ossidandosi anch'esso, e producendo solfato ferrico, oltre allo scemare di conduttività per ragioni analoghe alle predette, dà luogo ad una corrente contraria a quella corrispondente alla formazione del solfato zincico; epperò la corrente risultante, nel verso di quest'ultima, appare molto debole.

Elettromotori composti.

§ 313. Più coppie elettromotrici semplici ponno combinarsi fra loro in due diversi modi principali:

a) Disponendo in serie un dato numero di elettromotori semplici, per modo che il polo positivo dell'uno comunichi col polo negativo del successivo, e così sempre nel medesimo ordine, si forma un *elettromotore composto* od una *pila* composta di più coppie, considerandosi ciascuno elettromotore semplice quale una *coppia elettromotrice*. Di tal modo rimangono liberi i poli opposti delle due coppie estreme della serie, cioè nell'una riesce libero il polo positivo e nell'altra il negativo; e questi costituiscono i poli positivo e negativo della pila stessa, talchè, congiungendoli per mezzo di un arco metallico, danno luogo ad una continua circolazione, ossia ad una corrente elettrica, del pari che in un elettromotore semplice.

A circuito aperto, la tensione elettrica ai due poli cresce proporzionalmente al numero delle coppie, se queste sono tutte egualmente costituite ed in eguali condizioni. E la tensione risulta eguale in grandezza, benchè contraria di segno, ai due poli, se questi sono entrambi isolati: laddove se uno è in comunicazione col suolo, ivi è nulla la tensione, mentre all'altro polo la tensione riesce doppia di quella

avutasi nel precedente caso, qualora però il numero delle coppie sia pari. Ed, *anco a circuito chiuso, l'intensità della corrente cresce nella stessa proporzione* del numero delle coppie. La varia tensione può desumersi dalla varia deviazione data da elettrometro a fogliette d'oro, o meglio da elettrometro unifilare di Coulomb, o dal bifilare di Palmieri, giovandosi anche, ove occorra, dell'intermezzo d'un condensatore di Volta (Osserv. 44,^a).

Invece *la quantità della elettricità circolante*, a pari circostanze nel resto, *è proporzionale alla estensione superficiale delle lamine attive a contatto del liquido, ed alla efficacia dell'azione chimica esercitantesi su di esse*, cioè alla quantità del metallo ossidato e disciolto in un dato tempo sulla lamina attiva, se l'altra è inattiva, ovvero all'eccesso dell'ossigeno che si combina col metallo più attivo rispetto a quello che s'unisce, in egual tempo, al metallo meno attivo.

b) Un elettromotore composto può esser costituito in altro modo, cioè congiungendo tra loro gli elementi positivi di varie coppie a formare l'un polo, e d'altra parte gli elementi negativi di esse a formare l'altro polo. Però codesto elettromotore composto val quanto un elettromotore semplice, i cui elementi avessero un'estensione superficiale corrispondente alla somma delle superficie degli elementi congiunti. Cosicchè la tensione sarà per esso eguale a quella d'una sola coppia; ma la quantità sarà aumentata nel rapporto della superficie unitaria alla superficie totale per ciascun elemento.

Dunque, avendosi più coppie elettromotrici simili, si possono unire *in serie di tensione* (primo modo), od *in serie di quantità* (secondo modo), a formare un elettromotore composto.

Diverse combinazioni voltiane.

§ 314. Dietro i rilievi sperimentali poc'anzi esposti si può agevolmente comprendere il modo di operare ed il valore relativo dei diversi *elettromotori* o *reomotori* più usati, dei quali diamo qui un cenno.

Elettromotori a piliere od *a corona di tazze* di Volta. Ciascuna coppia è costituita da due lamine, l'una di zinco e l'altra di rame, saldate assieme, l'una delle quali sia a contatto con uno strato di acqua salata od acidula. Lo zinco, più facilmente ossidabile del rame, forma l'elemento attivo in contatto col liquido che si scompone ossidandolo. Però i due metalli essendo saldati assieme, accade che il polo positivo della pila è dato da quella coppia estrema che lascia libero lo zinco, poichè questo rimane inoperoso e riceve, solo come conduttore, lo stato elettrico del rame e quindi del liquido della

coppia antecedente; ed il polo negativo è dato dall'altra coppia estrema, la quale volge all'esterno il rame, che partecipa dello stato elettrico proprio dello zinco. Ma queste due forme di pile sono oggidì adoperate solo nei casi in cui richiedasi molta tensione, senza riguardo alla scarsa loro quantità.

L'elettromotore di Wollaston, detto anche a doppio rame, è formato da una lamina di zinco situata nella ripiegatura d'una lamina di rame foggia ad U, che però non la tocca, mentre entrambe pescano in una diluzione d'acido solforico (o piuttosto di solfato monoidrico) entro apposito vaso impermeabile e coibente. Il rame, in-

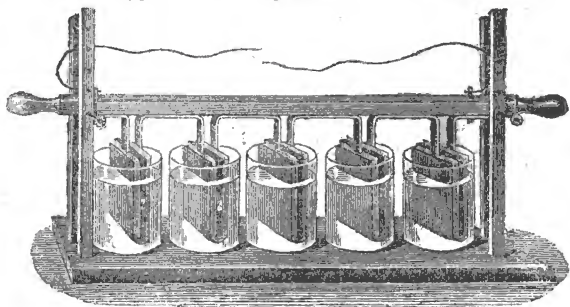


Fig. 248.

volgendo lo zinco, riceve ad un tempo la corrente elettrica e l'idrogeno che si producono dall'azione chimica esercitantesi su entrambe le faccie della lamina attiva. E così, ad eguali dimensioni dello zinco in contatto col liquido, una coppia a doppio rame dà una corrente più intensa di quella data da una coppia di Volta. La formazione del solfato zincico provoca la corrente principale diretta, entro il liquido, dallo zinco (elemento positivo) al rame (elemento negativo), ed al di fuori, per l'arco interpolare, diretta dal rame, che dà il polo positivo, allo zinco che dà il polo negativo dell'elettromotore semplice. E la riduzione del solfato idrico provoca una corrente contraria alla precedente, che è più debole di essa, e che però ne diminuisce di molto l'intensità. Congiungendo poi lo zinco interno d'una coppia col rame esterno della coppia successiva, e così di seguito, si costituisce una pila od un elettromotore composto di Wollaston, in cui, gli elementi di ciascuna coppia trovandosi disposti come richiede la teoria chimica, il capo dell'arco interpolare che tocca lo zinco d'una coppia estrema, forma il polo negativo della pila, e l'al-

tro capo, che comunica col rame dell'altra coppia estrema, forma il polo positivo della pila stessa.

¶ L'*elettromotore di Daniell* è così costituito: una lastra tubulare di zinco amalgamato pesca in una diluzione di solfato monoidrico, contenuta in un vaso d'argilla finamente poroso ed a pareti sottili. E questo sta nell'interno vano d'una lastra tubulare di rame immersa in una soluzione satura di solfato cuprico entro vaso di vetro

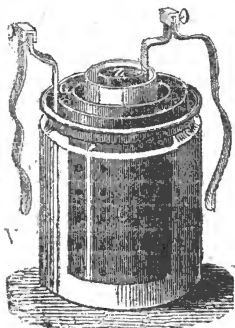


Fig. 249.

o di porcellana: cosicchè il vaso poroso divide i due limiti, ne quali stanno separatamente i due elementi della coppia. A circuito aperto non v'è azione chimica sensibile, attesa l'amalgamazione dello zinco, ma, appena si chiude il circuito, lo zinco si ossida e si discioglie, formando solfato zincico: l'idrogeno si trasporta in sul rame, e quivi compone il solfato cuprico, sostituendosi al rame, che si precipita su la lastra dello stesso metallo. Pertanto intorno allo zinco il solfato idrico si trasforma in solfato zincico, ed intorno al rame il solfato cuprico è trasformato in solfato idrico. Questa doppia sostituzione dei radicali delle

basi nei due sali si verifica per equivalenti; ma l'intensità dell'azione chimica corrispondente alla formazione del solfato zincico essendo maggiore di quella corrispondente alla riduzione del solfato cuprico, le due contrarie correnti elettriche prodotte da queste due azioni chimiche danno una risultante diretta nel verso della prevalente, cioè della prima. E quindi, per l'interno dell'elettromotore, lo zinco è l'elemento positivo ed il rame l'elemento negativo; laddove rispetto all'esterno, cioè all'arco interpolare, lo zinco forma il polo negativo ed il rame il polo positivo. Unendo poi con un filo metallico il rame d'una coppia collo zinco d'un'altra, e così di seguito, si costituisce un elettromotore composto di Daniell, il quale, a parità di condizioni nel resto, dà una corrente più intensa di quella di Wollaston; poichè la riduzione del solfato idrico richiede maggior energia chimica che non la riduzione del solfato cuprico, e quindi, mentre la corrente principale è eguale nei due elettromotori, la corrente contraria è più rilevante nel primo che nel secondo.

Elettromotore di Grove o di Bunsen. In quello di Grove una lamina tubulare di zinco amalgamato pesca in una diluzione di solfato monoidrico, il quale per mezzo di un vaso poroso è separato dal-

l'acido azotico, entro cui pesca una lamina di platino. Lo zinco si sostituisce all'idrogeno nel solfato idrico, formando solfato zincico solubile; l'idrogeno reso libero si dirige alla lamina di platino, e quivi

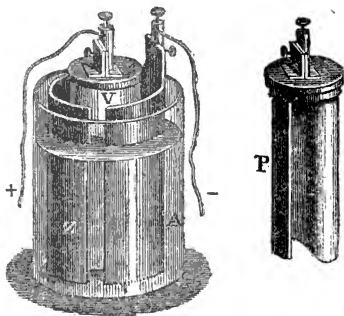


Fig. 250.

in contatto coll'acido azotico, combinandosi con una delle cinque molecole d'ossigeno di questo produce acido ipoazotico ed acqua. Pertanto in questo, come nei precedenti elettromotori, lo zinco rappresenta l'elemento elettro-positivo, e provoca la corrente principale colla formazione del solfato zincico; mentre la riduzione dell'acido azotico promuove una corrente contraria, ma ancor meno energica di quella corrispondente alla riduzione del solfato cuprico; e perciò la residua corrente, nel verso della prima, è molto più valida di quella risultante nell'elettromotore di Daniell. Nell'interno della pila la corrente galvanometrica procede dallo zinco alla diluzione d'acido solforico, indi all'acido azotico ed al platino (elemento elettro-negativo): laddove, all'esterno, procede dal platino, che forma il polo positivo, per l'arco interpolare allo zinco, che costituisce il polo negativo dell'elettromotore.

Bunsen sostitui alla lamina di platino una lamina od un prisma di carbone di ritorte, che ha una conduttività poco minore di quella del platino (fig. 241). Si ha così un elettromotore un po' meno energico di quello di Grove, ma assai meno costoso. Questi due elettromotori hanno però l'inconveniente d'un molesto svolgimento di vapori d'acido ipoazotico (a).

(a) Ad evitare codesto inconveniente, invece dell'acido azotico, si può adoperare il bicromato di potassa, come propose Poggendorff; oppure del perossido

Molto vantaggioso per riguardo alla poca variabilità nell'intensità, benchè meno energico dei due precedenti, riesce l'*elettromotore di Marié-Davy*, formato con una lamina tubulare di zinco amalgamato

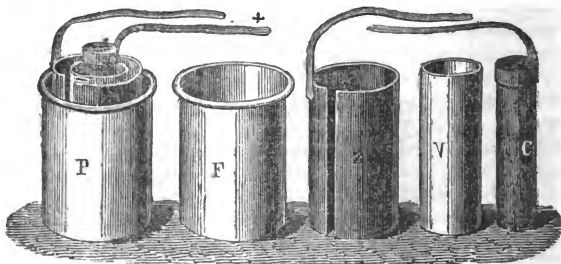


Fig. 251.

che sta in un vaso di vetro con acqua pura, mentre nel cavo di quella è posto un vasetto poroso contenente un prisma di carbone circondato da solfato di mercurio compresso ed appena umettato. Formasi solfato zincico colla scomposizione del solfato mercurico, onde il mercurio ridotto può raccogliersi ed utilizzarsi.

§ 315. Si ponno costituire combinazioni voltiane, benchè assai meno efficaci per quantità, sia con soli liquidi, o con liquidi e gas, sia con soli solidi.

La *pila di Zamboni*, detta anche *pila a secco*, è costituita da un gran numero (mille a due mila) di piccioli dischetti di stagnola alternati con dischetti di carta; sulla quale vien fissato con latte ed amido del perossido di manganese in polvere: tutti questi dischetti sono poi serrati tra loro da due dischetti di rame, applicati alle due estremità della pila e collegati da funicella di seta, ed il tutto è rinchiuso in tubo di vetro da cui emergono solo due bottoni metallici comunicanti colle anzidette estremità della pila. Lo stagno, segnatamente se la carta mantienisi tal poco umida, si ossida, riducendo il perossido di manganese a minor grado d'ossidazione: quindi, per l'interno della pila lo stagno è l'elemento elettro-positivo ed il perossido l'elettro-negativo, e per l'esterno è polo negativo l'estremo

di manganese bagnato con acido solforico; oppure del solfato di perossido di ferro, secondo Guignet; oppure del percloruro di ferro con 4 o 5 centesimi d'acido cloridrico, secondo Buff; oppure una poltiglia di solfato di piombo con acqua salata, secondo Marié-Davy. Codeste varie sostanze si riducono parzialmente, assorbendo l'idrogeno libero.

della pila che termina collo stagno, e l'altro che termina col perossido ne forma il polo positivo. La corrente è debolissima, attesa la lentezza dell'azione chimica che compiesi nella pila e la scarsa conduttività della carta e del perossido: però dai poli si hanno segni di tensione elettrica, che mantengonsi per anni.

La più utile applicazione di queste pile è quella fatta all'elettroscopio di Bonhenberger (pag. 517). Due pile a secco presentano alla foglietta elettroscopica i loro due opposti elettrodi, così situati che i loro effetti d'induzione e d'attrazione si elidano mutuamente quando essa è in istato naturale; ma se la foglietta stessa assume, per induzione d'altro corpo o per comunicazione, lo stato elettrico, essa viene, ad un tempo, respinta dal polo in istato omologo, ed attratta dal polo contrario, verso il quale si muove per queste due azioni cospiranti.

Elettromotore a due liquidi di Becquerel. Una soluzione acida ed un'altra alcalina o basica, suscettibili di combinarsi tra loro con viva reazione, sono contenute in due separate tazze, in ciascuna delle quali pesca una lamina di platino, che opera soltanto da conduttore od elettrodo. A determinare la reazione tra i due liquidi, si fanno comunicare per mezzo d'un fascio di fili di cotone o d'amianto, preventivamente bagnati con una delle soluzioni, e posto a cavalcioni delle due tazze. Chiudendo allora il circuito col filo d'un galvanometro congiunto ai due elettrodi, si riconosce una corrente diretta, attraverso i liquidi, dalla base (elemento elettro-positivo) all'acido (elemento elettro-negativo); e quindi diretta dall'acido alla base per l'arco interpolare: perciò l'elettrodo toccante l'acido risulta il polo positivo e l'altro il polo negativo di siffatto elettromotore.

Elettromotore a gas di Grove. Un tubo di vetro, aperto solo inferiormente, contiene idrogeno, un altro tubo simile contiene ossigeno: pescano entrambi inferiormente nell'acqua acidulata che stabilisce comunicazione tra i gas. Havvi di più in ciascun tubo un elettrodo di platino con reoforo simile, il quale attraversa la sommità chiusa del tubo; però l'elettrodo stesso, che superiormente è in contatto con uno dei gas, inferiormente giunge a toccare il liquido. Congiungendo i due reofori, i due gas si combinano attraverso il liquido producendo acqua: onde s'ottiene una corrente diretta dall'idrogeno (elemento elettro-positivo) all'ossigeno (elemento elettro-negativo) attraverso il liquido, e diretta dall'ossigeno all'idrogeno per l'arco interpolare. Sicché l'elettrodo toccante l'ossigeno forma il polo positivo e l'altro il polo negativo di tale elettromotore, il quale benché costituito da soli gas, è piuttosto efficace, non verificandosi in esso altra azione chimica che provochi corrente contraria alla principale. Se non che lenta procede la combinazione dei due gas attra-

verso l'acqua interposta e per opera di successive polarizzazioni e neutralizzazioni molecolari di questa.

§ 316. Oltre alle prove che ponno trarsi dalla stessa dichiarazione sin qui data dei vari elettromotori, la teoria chimica, da noi seguita, trova appoggio in un gran numero di fatti rilevati segnatamente da Becquerel, da Delarive, da Faraday e da Matteucci. Basti l'accennarne alcuni.

Nell'esperienza fondamentale di Volta (§ 311) coi dischi di zinco e di rame, si mostra assai influente l'intervento dell'acqua, siccome avvertì Dal Negro. Spesso interviene l'umidore del dito con cui si tocca uno dei dischi per metterlo in comunicazione col suolo, mentre l'altro disco comunica col condensatore e coll'elettroscopio: e quando si tocca lo zinco, più ossidabile del rame, si hanno più distintamente i segni elettrici. Se il dito e l'aria sono molto secchi, o non si hanno i segni, specialmente se si tocca il rame, o se ne hanno di debolissimi.

Certo è che se anco qualche segno elettroscopico di tensione può aversi tra due metalli a contatto, indipendentemente da ogni azione chimica, da essi non può mai aversi (senza l'intervento di un corpo umido) una corrente benchè debolissima, atta a mantenere per alcun tempo una deviazione in un galvanometro pure squisitissimo.

Per converso Faraday osservò che due ampie lamine, l'una di zinco e l'altra di rame, immerse nell'acqua acidulata, senza toccarsi tra loro, e munite ciascuna di un filo conduttore dello stesso metallo, acquistano una così distinta tensione elettrica opposta, che, avvicinando gradatamente i due capi liberi dei fili, accade la scarica, prima che giungano a contatto.

Esaminando poi la serie data dal Volta, ove i metalli sono ordinati secondo i gradi decrescenti della loro forza elettromotrice (zinco, piombo, stagno, ferro, ottone, rame, argento, oro, platino), si scorge presentar essa ai suoi estremi i metalli di più facile o di più difficile ossidazione, siccome quelli che tra loro danno le più efficaci correnti.

E quest'ordinamento dei metalli viene altresì a variare, mutando la natura dei liquidi coi quali si bagnano, appunto secondo che i metalli stessi sono più dall'uno che dall'altro liquido attaccati. Così, per esempio, una coppia di rame e ferro, che nell'acqua acidulata dà la corrente dal ferro al liquido, la dà dal rame al liquido in una soluzione di solfidrato di potassa, di soda o di ammoniaca. Una coppia rame e stagno, che promuove la corrente dallo stagno al liquido nell'acqua acidulata, la promuove dal rame al liquido nell'ammoniaca, che intacca di preferenza quest'ultimo metallo. Ed una coppia rame e piombo, la quale coll'acido azotico diluito produce la corrente dal piombo al liquido, la produce dal rame al liquido coll'acido azotico concentrato.

Ed ogni qual volta non v'è azione chimica, non si ottiene corrente sensibile al miglior galvanometro, ancorchè abbiansi a contatto metalli eterogenei e liquidi conduttori. Ad esempio, una coppia oro e platino con acido azotico non dà corrente; mentre, aggiungendovi qualche goccia di acido cloridrico, dà una corrente distinta, procedente dall'oro al liquido che lo intacca. Una coppia platino ed argento, entro soluzioni alcaline o saline, le quali non reagiscono sull'argento, non provoca alcuna corrente, e la provoca sensibile colla aggiunta di una goccia di acido che, ossidando l'argento, lo rende negativo. Una coppia platino e palladio, che è inattiva nell'acido solforico diluito, dà la corrente dal palladio al liquido aggiungendovi alcune gocce d'acido azotico, il quale agisce sul palladio stesso. Nel solfuro potassico, che è pure un liquido conduttore, le coppie ferro e platino, ferro ed oro, ecc., non producono corrente, non intervenendo azione chimica in queste diverse combinazioni: eppure basterebbe scaldare la giuntura di tali coppie di metalli formanti un arco bimetallico per avere una forte corrente termo-elettrica, come si vedrà più avanti. E cogli elettromotori a gas, preparati a modo di quello descritto poc'anzi, Grove verificò aversi corrente assai sensibile quando i due gas sono atti a reagire tra loro (come col cloro e l'idrogeno, col cloro e l'ossido di carbonio, nelle quali coppie il cloro fa ufficio di elemento negativo); e per contro verificò non ottenersi alcuna corrente coll'ossigeno e l'azoto, coll'idrogeno e l'azoto, fra i quali non si esercita una distinta azione chimica.

Per lo insieme di tutti codesti fatti pare adunque potersi ammettere il seguente principio:

Il contatto di due corpi eterogenei è bensì necessaria condizione per l'elettromozione voltiana. Ma se tra essi non s'esercita alcuna azione chimica, non può aversi vera corrente voltiana: la quale invece si produce e si mantiene lorquando abbiasi una chimica reazione orientata, ed allora essa risulta tanto più intensa, quanto è più viva e ben governata la reazione stessa.

§ 317. Una corrente voltiana provoca, d'ordinario, in alcune parti del circuito una polarizzazione chimica permanente, la quale origina una corrente secondaria opposta e quindi a detrimento della corrente principale.

Le lamine metalliche, che servono all'elettrolisi in un circuito voltiano, ancorchè siano chimicamente inattaccabili dai liquidi coi quali sono a contatto, come sono le lamine di platino, si polarizzano permanentemente, condensandosi o fissandosi su la loro superficie gli elementi ridotti dalla stessa elettrolisi. Cosicchè, immergendole da sole nell'acqua, connesse con un filo galvanometrico, valgono a produrre una corrente, che è detta *secondaria*, ed è diretta in verso

contrario della prima corrente attiva, e che però svanisce in breve. La lamina su la quale dianzi fissavasi l'idrogeno (l'elettrodo positivo) forma l'elemento elettro-positivo di questo elettromotore secondario, il quale, attraverso il liquido, dà la corrente diretta dalla predetta lamina all'altra su la quale fissavasi l'ossigeno, e, per il galvanometro, la dà da quest'ultima alla prima, appunto come nell'elettromotore a gas (pag. 593).

Ritter immaginò quindi di formare alcune *pila* dette *secondarie* con molte lamine metalliche, tutte d'egual natura e poco ossidabili (d'ordinario sono di rame), intercalate soltanto da un conduttore umido, le quali da loro non danno corrente, e ne danno poi una piuttosto vigorosa, benchè poco durevole, assoggettandole, a modo d'arco interpolare, ad una energica corrente d'una pila attiva. Anche questa corrente secondaria, che è in direzione opposta a quella della corrente attiva, mette in evidenza la polarizzazione per tal modo subita dalle lamine della pila secondaria, durante l'azione della corrente che per essa si trasmette. Se poi s'inverte la direzione della corrente attiva, e la si lascia operare per qualche tempo su la pila di Ritter, si trova di poi invertita anche in questa la corrente, mercè una nuova polarizzazione in ordine inverso delle due facce d'ogni sua lamina.

Dietro questi fatti s'intende il pronto svigorirsi della corrente principale od attiva negli elettromotori ad un sol liquido, come son quelli di Volta e di Wollaston, a motivo che le stesse lamine passive (di rame) d'ogni coppia, continuando a star chiuso il circuito, si polarizzano, e provocano quindi una corrente secondaria, diretta in contrario verso, che elide in parte la efficacia della prima. Laddove negli elettromotori a due liquidi (quelli di Daniell, di Grove e di Bunsen) la polarizzazione della lamina passiva (rame, platino o carbone) non è favorita, poichè quell'elemento (l'idrogeno) che tenderebbe a fissarsi su di essa, si ricompone con altro elemento (l'ossigeno) del liquido con cui è in contatto. Lo stesso accade nell'elettromotore a gas di Grove. Perciò codesti *elettromotori* sono anche detti *a forza costante*, benchè pur in essi accadano alcuni secondari effetti di polarizzazione de' rispettivi elementi solidi.

Leggi di Ohm.

§ 318. L'intensità I d'una corrente prodotta da un elettromotore, ritenendosi corrispondente al rapporto fra la totale forza elettromotrice E degli elementi attivi e la totale resistenza R opposta alla corrente

stessa dall'insieme dei corpi costituenti il circuito elettrico, cioè ritiensi:

$$I = \frac{E}{R}.$$

Però, in un elettromotore composto di un numero n di coppie elettromotrici eguali, e disposte in una sola serie, l'intensità della corrente è rappresentata dalla formola:

$$I = \frac{e}{r + \frac{r'}{n}},$$

ove e denota la forza elettromotrice, r la resistenza interna per ciascuna coppia, ed r' la resistenza esterna della pila, cioè quella opposta alla corrente dall'arco interpolare.

Se $r' = 0$, cioè se il circuito è chiuso colla immediata comunicazione de' poli senza conduttore estraneo, la intensità della corrente riesce costante qualunque sia n , avendosi:

$$I = \frac{e}{r}.$$

Invece, coll'arco interpolare, l'intensità aumenta col diminuire del rapporto $\frac{r'}{n}$, ossia coll'aumentare del numero n delle coppie.

D'altra parte la resistenza interna r e l'esterna r' soddisfanno a queste relazioni:

$$r = c \frac{d}{s}, \text{ ed } r' = c' \frac{l}{s'},$$

ove s esprime la superficie immersa di ciascuna delle lastre metalliche formanti la coppia, d la grossezza del liquido interposto, ossia la distanza fra le due lastre, c il coefficiente della resistenza specifica del liquido stesso; ed ove l , s' , c' , esprimono rispettivamente la lunghezza, la sezione trasversale e la resistenza specifica del conduttore interpolare. E la specifica resistenza dei diversi conduttori, siano solidi, siano liquidi, è in ragione reciproca della rispettiva loro conduttività elettrica e termica, ed in ciascun corpo codesta resistenza cresce notevolmente coll'aumentare della temperatura.

Queste relazioni vennero formulate da Ohm, e sussistono qualunque sia la teoria che vuolsi adottare circa l'origine dell'elettricità voltiana.

§ 319. Quanto ai particolari valori della resistenza specifica o della conduttività relativa dei diversi metalli valgano i seguenti dati forniti dalle esperienze di Edmondo Becquerel, le quali sono in baste-

vole accordo coi dati di altri sperimentatori, e provano insieme la notevole influenza della temperatura e del ricuocimento su questa proprietà. E per mostrare qual intima relazione siavi tra la conduttività elettrica e la conduttività termica dei vari metalli, vi aggiungiamo i valori della conduttività relativa dei metalli per il calore, giusta le esperienze di Wiedemann e Franz (p. 320).

	Resistenza specifica a 12°,5		Conduttività elettrica		Conduttività termica
	incrudito	ricotto	a 0°	a 400°	
Argento . . .	1,070	1,000	1,000	0,713	1,000
Rame . . .	1,123	1,094	0,915	0,649	0,736
Oro . . .	1,552	1,523	0,650	0,485	0,532
Cadmio . . .	4,069	....	0,246	0,175	....
Zinco . . .	4,138	....	0,241	0,176	0,190
Stagno . . .	7,323	....	0,140	0,0866	0,145
Palladio . . .	7,146	....	....	....	....
Ferro . . .	8,248	8,174	0,1235	0,0859	0,119
Piombo . . .	12,129	....	0,0828	0,0497	0,085
Platino . . .	12,435	12,275	0,0576	0,0669	0,084
Mercurio . . .	55,502	....	0,0174	0,0157	....

Lo stesso Wiedemann verificò (1859) che anco nelle leghe, fatte con vari metalli ed in varie proporzioni, la conduttività termica è direttamente proporzionale alla conduttività elettrica.

È pur cosa degna di rimarco che il vetro, secondo Buff (1854), a temperature non molto elevate, offre una notevole diminuzione nella resistenza specifica coll'aumentare della temperatura. Così a 200° tale resistenza è ancora corrispondente a 258, ritenuta 1,0 quella dell'argento; a 250° riducesi a 158; a 300° riesce soltanto 17, ed a 400° non è più che 8,4, ossia pressochè eguale a quella che presenta il ferro alle ordinarie temperature. Ancor questo aumento di conduttività elettrica ad alte temperature pare dovuto a che il vetro assume una più uniforme struttura, e quindi più uniforme conduttività termica ed elettrica nel senso d'ogni direzione.

Sonvi poi molti ossidi, cloruri, joduri e sali diversi, i quali presentano una tal quale conduttività colla fusione ignea, mentre sono coibenti in istato solido.

La fiamma offre non poca conduttività, anche per l'elettricità a debole tensione.

§ 320. *La scarica data dagli elettromotori voltiani punto non differisce da quella data da un condensatore di grandissima capacità (qual è una batteria di Leida), caricato a debole tensione.* Questa importante proposizione fu primamente dimostrata dal Volta.

Ogni scarica voltiana corrisponde alla trasmissione d'una grande carica elettrica, effettuantesi in un tempo brevissimo. Se non che l'elettromotore, a circuito chiuso, riproducendo immantinente la propria carica, ove continui in esso l'azione chimica, ed ove la interna resistenza sia debole, può dare in poco tempo una assai numerosa serie di scariche, succedentisi con estrema rapidità, e può quindi produrre effetti termici e chimici molto più rimarchevoli di quelli ottenibili colla scarica a debole tensione di ben ampio condensatore.

Volta provò che un piliere di 60 coppie rame e zinco con acqua acidulata, il quale dà la tensione di circa 1^o dell'elettrometro a pagliette più sottili (pag. 517), carica alla stessa tensione, in un cinquantesimo di minuto secondo, una batteria di circa dieci piedi quadrati di armatura; scaricando la quale ottiensì una scossa pari a quella data direttamente dall'elettromotore. E con altro piliere simile di 250 coppie si carica alla sua tensione di 2,5 la medesima batteria; sicchè ottengonsi e dall'uno e dall'altra commozioni assai violenti.

D'altra parte, come già si è accennato (Osserv. 15.^a e 47.^a), le scariche d'un elettromotore a strofinio o d'un elettromotore ad induzione possono manifestarsi, ma con debole intensità, al galvanometro, in un modo affatto analogo ad un circuito voltiano.

Però in quelli ad induzione la deviazione è sempre maggiore che in quelli a semplice strofinio; ed in entrambi cresce rapidamente coll'aumentare la velocità del moto rispettivo delle parti oppostamente elettrizzate per attrito o per induzione.

Le macchine a strofinio producono, sotto forti tensioni, tenui quantità d'elettricità: laddove le pile idro-elettriche danno, a debolissima tensione, rilevanti quantità d'elettricità.

Azioni elettrolitiche.

§ 321. Le correnti voltiane valgono a scomporre pressochè tutti i composti, anche i più saldi. Però *quanto più stabile è il corpo da ridurre, tanto più intensa dev'essere la corrente.*

L'azione scompositrice d'una corrente è detta *elettrolisi* da Faraday.

La corrente promossa da una o due coppie alla Bunsen vale a scomporre l'acqua (che vuol però essere leggermente acidulata, onde accrescerne la conduttività); ma i di lei componenti si rendono liberi soltanto in contatto dell'estremità del reoforo, o meglio delle lamine non attaccabili chimicamente (d'ordinario sono di platino), che

ad esse s'uniscono e che diconsi più propriamente *elettrodi*. L'ossigeno svolgesi in contatto dell'elettrodo positivo (detto *anodo* da Faraday, per brevità di discorso), mentre l'idrogeno sviluppa all'elettrodo negativo (detto *catodo*). Quindi, giusta la legge che l'attrazione avviene solo fra corpi in opposto stato elettrico (Osser. 6.^a) l'ossigeno è ritenuto l'elemento elettro-negativo dell'acqua, e l'idrogeno ne è ritenuto l'elemento elettro-positivo.

La corrente data da buon numero di coppie di Grove o di Bunsen vale a decomporre pressochè tutti i composti binari (acidi, basici e neutri), e persino le terre e gli alcali, che, innanzi le prove di Davy,

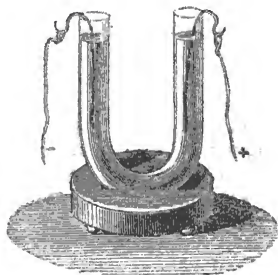


Fig. 252.

ritenevansi corpi indecomponibili. Se il composto consta d'un metallo e d'un metalloide (ossidi, cloruri, solfuri, ioduri, bromuri metallici), il metallo si rende libero al catodo (a), ed il metalloide all'anodo: perciò i metalli in tutti i composti binari operano come elemento elettro-positivo. Negli ossiacidi l'ossigeno svolge all'anodo, l'altro metalloide al catodo. Negli idracidi l'idrogeno sviluppa al catodo, e l'altro metalloide all'anodo.

Anche i sali ossigenati si decompongono per azione voltiana: l'acido del sale, in un coll'ossigeno della base, si raccoglie all'anodo, ed il metallo isolato raccogliesi al catodo. Se però questo metallo è capace di decomporre l'acqua alle temperature ordinarie, nell'atto di svolgersi in prossimità del catodo, decompone l'acqua della dissoluzione, se ne appropria l'ossigeno e vi riproduce quindi la base: mentre l'idrogeno svolgesi libero intorno al catodo stesso (b).

§ 322. Il lavoro di scomposizione effettuato da una determinata corrente all'esterno dell'elettromotore, cioè nell'arco interpolare, è equivalente al lavoro chimico interno, generatore della corrente stessa.

Denominasi *voltmetro* un apparato costituito, ordinariamente, da

(a) Su questo principio riposano i processi detti di elettro-argentatura, elettrodoratura, ecc., facendosi deporre un velo d'argento, d'oro, ecc. su metalli di minor valore.

(b) Di questo modo si comporta ad esempio il solfato di rame: e di tal proprietà si trae partito nella *galvanoplastica*, facendosi depositare uno strato metallico su di un conduttore, del quale vogliansi ritrarre i rilievi, e che è posto a far da elettrodo negativo in una dissoluzione di detto sale.

un vaso contenente acqua acidulata, dal fondo del quale sorgono due elettrodi di platino poco discosti, ma ben isolati nel resto tra loro, a ciascuno dei quali si sovrappone una piccola campanella graduata e già empita dello stesso liquido. Quando la corrente, a compiere il circuito, deve attraversare l'acqua interposta ai due elettrodi, la scompone e raccolgonsi isolati nelle campane i gas svolti intorno a ciascun elettrodo; sicchè se ne riconosce facilmente la natura e il

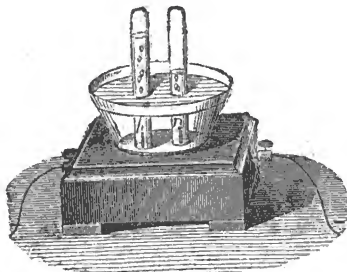


Fig. 253.

volume. E poichè l'azione chimica esterna è commisurata alla interna dell'elettromotore, come qui sopra si disse, dalla quantità del gas svolto in un dato tempo da varie correnti si può argomentare la loro intensità relativa. Comunemente suolsi prendere per *unità di misura* dell'intensità relativa delle correnti quella d'una corrente che sviluppa 1 grammo d'idrogeno in un minuto primo. Epperò dal volume del gas idrogeno prodotto in un dato tempo da una corrente si potrà determinare l'intensità relativa di essa, conoscendo anche la temperatura e la pressione del gas medesimo.

Però si possono adoperare voltametri a gas con altri liquidi elettrolitici, riferendosi ai rapporti dei pesi di combinazione dei vari corpi indecomposti.

Ma si prestano a più precise misure i voltametri a pesata, e segnatamente quello ad elettrodi in argento puro, nuotante in una soluzione di nitrato d'argento neutro, proposto da Buff ed usato con vantaggio da Marié-Davy. In opera della corrente, e proporzionalmente alla sua intensità, la lamina positiva perde di peso, sciogliendosi l'argento nella soluzione, mentre d'altrettanto aumenta in peso la lamina negativa, precipitandosi su di questa un'eguale quantità d'argento ridotto dal sale. Laonde con isquisite bilancie può aversi

la misura relativa dell'efficacia della corrente. La lamina negativa può anche essere di platino.

Meno preciso, ma meno costoso, è il voltmetro con elettrodi di rame nuotanti in una soluzione di solfato cuprico.

Sino dal 1834 venne asserito da Faraday, che la dissoluzione d'un dato peso di zinco nell'elettromotore produce una corrente bastevole a ridurre elettroliticamente un peso proporzionale di acqua, e che l'elettricità richiesta a scomporre un dato peso d'un qualunque elettrolito è eguale, in quantità, a quella che produrrebbe colla combinazione di un egual peso dello stesso elettrolito. Tosto dopo, Matteucci (1835) riconobbe che: *a*) in una pila a circuito chiuso, entro ciascuna coppia si discioglie un'egual quantità del metallo elettropositivo, ovvero si svolge libero un'egual quantità d'idrogeno sul metallo elettro-negativo; *b*) per ciascuna unità di peso del metallo positivo disciolto o dell'idrogeno sviluppato entro ogni coppia si produce un peso proporzionale di metallo precipitato o di idrogeno svolto nell'elettrolito, che viene scomposto dalla stessa corrente all'infuori della pila. Epperò riconobbe *sussistere una giusta equivalenza fra l'azione chimica interna generatrice della corrente e l'efficacia chimica esterna della corrente stessa.*

Colle pile a due liquidi di Daniell, di Grove e di Bunsen si può verificare più facilmente questo principio. E meglio ancora con un elettromotore a gas di Grove si può rilevare che, per ogni unità di peso d'acqua decomposta dalla corrente nell'arco interpolare, si produce nell'interno dell'elettromotore un egual peso d'acqua colla combinazione dei due gas che origina la corrente stessa.

§ 323. Se una corrente elettrica agisce contemporaneamente sovra una serie di diversi corpi decomponibili (detti *elettroliti*), formanti un unico circuito, i pesi degli elementi separati in ciascuno di essi tengono gli stessi rapporti dei corrispondenti loro pesi di combinazione.

Faraday osservò che, facendo passare una stessa corrente per una serie di voltmetri ad acqua acidulata, produconsi in tutti eguali quantità di gas idrogeno. E ciò ottiensi ancorchè in alcuni voltmetri siavi acqua acidulata, in altri una diluzione alcalina, ed in altri una soluzione salina. Ed anche con un voltmetro ad acido cloridrico concentrato, si ottiene una egual quantità d'idrogeno come in quello in cui scomponesi l'acqua; ma nel primo il peso del cloro reso libero all'elettrodo positivo sta a quello dell'ossigeno nell'altro, come i corrispondenti pesi di combinazione. E così, sottoponendo all'azione di una data corrente diversi elettroliti (dei cloruri, ioduri, o solfuri metallici, mantenuti fusi col calore, dei sali neutri, ecc.), si riscontra che in ciascuno di essi le decomposizioni si compiono in tali pro-

porzioni, che le quantità in peso dei rispettivi elementi elettro-negativi (ossigeno, cloro, iodio, solfo, acido, ecc.) tengono fra loro gli stessi rapporti dei rispettivi pesi di combinazione.

§ 324. Sembra però che tanto nell'interno, quanto all'esterno d'un elettromotore non avvenga un diretto trasporto dei componenti degli elettroliti.

Ad esempio, il fatto che nella scomposizione esterna dell'acqua i di lei componenti si manifestano liberi soltanto in contatto cogli elettrodi, potrebbero intendere, come rilevarono Grothius e Delarive, di questo modo. In opera della corrente, o meglio in opera della opposta tensione degli elettrodi, l'acqua interposta a questi vien polarizzata, orientandosi ogni sua molecola composta, per modo che

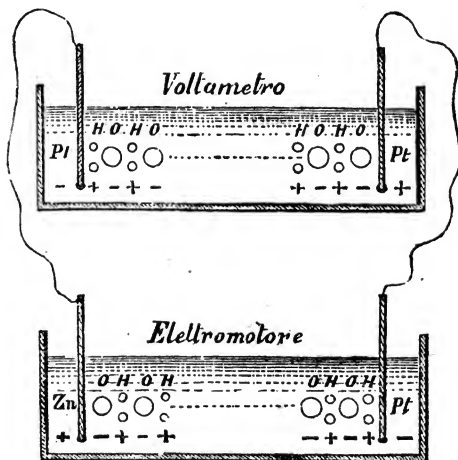


Fig. 254.

l'ossigeno è volto all'elettrodo positivo e l'idrogeno di essa guarda l'elettrodo negativo; succede quindi una serie di scariche elettriche parziali fra le singole successive molecole d'acqua, mentre i componenti di esse vengono mano mano a scambiarsi fra le molecole contigue, l'ossigeno dell'una passando ad unirsi all'idrogeno della precedente, verso l'anodo, ed il di lei idrogeno passando ad unirsi all'ossigeno della molecola susseguente, verso il catodo: talchè per

ciascun filetto di molecole, solamente l'ossigeno della molecola estrema toccante l'anodo e l'idrogeno dell'altra molecola estrema in contatto col catodo rimangono liberi, avendo le altre molecole elementari, colla loro ricomposizione, riprodotte altre molecole d'acqua. E queste poi alla lor volta, vengono polarizzate, orientate, decomposte e ricomposte con un simile processo, restando mano mano liberi i due elementi soltanto alle opposte estremità della serie. Tutto ciò conformemente a quanto si è detto (Osserv. 14.^a) a proposito di una serie di palle interposte agli elettrodi, e possiamo pur dire conformemente a quanto si osserva per la trasmissione di movimenti in una serie di palle elastiche d'egual massa ed all'apparente contatto tra loro (pag. 52).

Nei corsi pubblici questa polarizzazione elettrolitica può mettersi in evidenza disponendo su un piano isolante (una lamina di vetro con vernice copale) una serie di piccoli rombi di carta amido-jodurata e leggermente umettata, i cui vertici successivi stiano poco discosti fra loro, ed applicando agli estremi di essa gli elettrodi di una macchina ad induzione (§ 309), sì che essa sia attraversata da una serie di scariche elettriche della macchina mantenuta per poco in azione: tutte le estremità dei rombi volte all'elettrodo positivo assumeranno la tinta violacea, propria dell'iodio, elemento elettro-negativo dell'ioduro potassico che andrà scomponendosi, mentre il resto dei rombetti rimane di color bianchiccio, come diamzi.

In modo analogo, quando la corrente trapassa diversi elettroliti, comunicanti successivamente tra di loro, avvengono successivi scambi

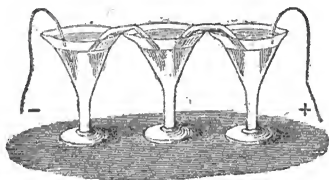


Fig. 255.

dei componenti, in proporzioni definite, fra le loro molecole polarizzate frammezzo agli elettrodi; e questi componenti, per una serie di scomposizioni e ricomposizioni successive, s'inoltrano gli uni in senso contrario degli altri, sinchè non trovando più altri componenti con opposta tensione cui possano unirsi, si fanno liberi, siccome accade d'ordinario, in contatto cogli elettrodi. Ed in ciò appunto consiste la scarica chiamata *elettrolitica* da Faraday (Osserv. 55.^a).

Azione termica delle correnti.

§ 325. La quantità totale Q di calore promosso in un dato tempo t nel complessivo circuito d'un elettromotore (cioè nell' interno di esso e nell'arco interpolare), la cui totale resistenza sia R , è data dalla relazione:

$$Q = aRI^2t,$$

ovvero dalla equivalente:

$$Q = a \frac{E^2}{R} t,$$

essendo a una costante, I l'intensità della corrente ed E la forza elettromotrice che la origina. Quindi la quantità totale di calore svolgibile da un elettromotore è proporzionale alla quantità dell'elettricità che in esso si promuove, oppur anco proporzionale alla intensità dell'azione chimica che determina la corrente risultante (§ 313). Anzi la totale quantità di calore prodotto in un circuito voltiano corrisponde giustamente alla risultante delle quantità di calore svolte ed assorbite dalle singole composizioni e decomposizioni che si compiono nell'interno dell'elettromotore.

E similmente la quantità di calore q svolta in una data sezione dell'arco interpolare, la cui resistenza sia r' , sarà esprimibile da

$$q = ar'I^2t, \text{ ovvero da } q = ar' \frac{E^2}{R^2} t;$$

quindi:

$$q = \frac{r'}{R} Q;$$

cioè la quantità di calore provocato in un dato tempo in una determinata sezione del circuito sta al calore promosso nell'intero circuito, come la *resistenza parziale* della sezione stessa sta alla *totale resistenza* del circuito. Perciò, quanto minore sarà la interna resistenza dell'elettromotore, tanto maggiore sarà la quantità di calore che si potrà promuovere nell'arco interpolare, aumentando in esso la resistenza, cioè formandolo con sostanza poco conduttrice ed avente una ben piccola sezione trasversale (pag. 316).

A produrre effetti termici meglio riescono gli elettromotori di Grove e di Bunsen che quelli di Daniell e di Wollaston, poichè nei primi è più intensa la corrente, cioè sono più valide le interne azioni chimiche che negli altri. Ed, in genere, giova più l'estensione degli elementi d'ogni coppia che il numero delle coppie elettromo-

trici. Poche coppie alla Bunsen di grande superficie bastano a scaldare prontamente i fili interpolari, anzi a ridurli incandescenti ed a fonderli, se sono sottili e poco conduttori, come accade per il ferro ed il platino.

La corrente promossa da poche coppie di Bunsen dà una corta ma vivida scintilletta all'atto che si chiude il circuito, e ne dà un'altra, ma più debole, nell'aprire il circuito. Con un buon numero

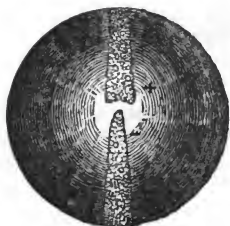


Fig. 256.

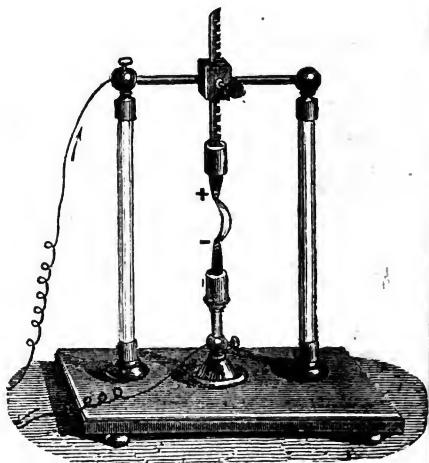


Fig. 257.

di tali coppie la corrente produce una vivissima luce, passando fra due pezzi acuminati di carbone da ritorte, i quali però vanno corrodendosi, e più assai il positivo: laonde, a rendere costante l'intensità di luce, bisogna trovar modo di rendere costante la distanza fra le due punte.

Joule (1842) e Delarive (1843) avvertirono, e Favre (1854) verificò con molte ed accurate prove che il calore totale promosso da una pila equivale a quello prodotto dalle azioni chimiche che in essa si compiono.

E, pur variando le condizioni dell'esperienza in molti modi, Favre riconobbe che qualunque sia la natura e la resistenza dell'arco interpolare, una determinata azione chimica, verificantesi nell'interno d'un elettromotore, produce sempre la stessa quantità totale di ca-

lore, la quale però ne' singoli casi riesce variamente ripartita nelle diverse porzioni del circuito.

Laonde le azioni chimiche, che nell'elettromotore determinano la corrente elettrica, provocano altresì il calore che si manifesta, sia nel suo interno, sia nell'arco interpolare. E le quantità di elettricità e di calore prodotte da un elettromotore, e la sua efficacia nell'esercitare azioni chimiche esterne, ponno dirsi proporzionate tanto alla forza elettromotrice, quanto ancora al calore promosso da queste stesse azioni, e quindi le si potranno valutare indifferentemente per uno qualunque di codesti dati.

§ 326. Dall'insieme poi dei fatti qui esposti ci sembra potersi trarre il seguente principio:

Tanto nella produzione, quanto nell'azione delle correnti voltiane si manifestano, tra loro commisurati ed inseparabilmente connessi, tre ordini di fenomeni, cioè chimici, elettrici e termici. Talchè l'affinità, il calore e l'elettricità ci appaiono quali tre diverse forme o modi d'azione, tra loro inseparabili, d'una stessa energia.

Azione fisiologica delle correnti.

§ 325. *Le correnti voltiane operano come uno de' più efficaci stimoli sul sistema nervoso degli animali, provocando diverse impressioni, a seconda delle speciali funzioni dei singoli rami nervosi. E furono quindi adoperate di sovente come mezzo terapeutico.*

A produrre le commozioni negli animali non influisce tanto la estensione delle coppie, quanto il loro numero, ossia ha maggior influenza la tensione che la quantità della elettricità circolante. Bastano dieci piccole coppie elettromotrici di Volta per avere una sentita scossa nelle dita della mano che facciano arco tra i loro poli. E una cinquantina di coppie provocano una sensibile commozione nelle braccia, se si toccano gli elettrodi colle mani.

Obbligando poi una corrente voltiana a percorrere di preferenza questo o quel ramo nervoso di un animale, si riconosce che essa provoca diverse sensazioni (sapore, bagliore, romorio), diversi movimenti (contrazione, distensione, inalazione, ecc.), e diverse funzioni e secrezioni (digestione, traspirazione cutanea, secrezioni umorali delle piaghe, ecc.), a seconda dell'ufficio speciale dei rami nervosi percorsi.

Questi fenomeni verificansi tanto se la corrente trapassi nervo e muscolo insieme, quanto se corra solo un tratto del nervo (a):

(a) Matteucci avvertì pure che una corrente elettrica provoca bensì le contrazioni di un muscolo quando essa corre anche solo un breve tratto longitu-

però quand'essa attraversa soltanto i muscoli, si verifica la scossa unicamente al chiudere del circuito, e non più all'aprirlo, sembrando quest'ultima dovuta puramente ad un'alterazione prodotta nel nervo dalla corrente stessa. Così le correnti forti riescono, proporzionalmente, più operose all'aprire che al chiudere del circuito, mentre accade l'opposto per le correnti deboli.

FENOMENI ELETTRO-MAGNETICI.

§ 328. Già s'è veduto (§ 310) sussistere una singolare analogia tra i fenomeni di induzione e polarizzazione elettrica e quelli di induzione e polarizzazione magnetica. E si è poi mostrato che le correnti date dagli elettromotori chimici o voltiani differiscono (§ 320) solo per quantità e per tensione da una rapida serie di scariche date da un elettromotore meccanico o ad induzione.

Dobbiamo ora esporre alcune più intime corrispondenze che si riscontrano fra le influenze elettriche e le magnetiche.

Fin qui notammo che le correnti elettriche esercitano anche energiche azioni termiche o chimiche sui corpi che entrano direttamente a far parte d'un circuito voltiano, mentre, a motivo della loro debolissima tensione, non valgono a manifestare una vera *influenza elettrica* a distanza (Osserv. 16.^a). Ora però dobbiamo dire di talune importanti azioni che le stesse correnti esercitano a distanza, e che ben si meritano nome di *influenze magnetiche*, come si può dedurre dalle seguenti osservazioni.

Azioni mutue tra le correnti.

§ 329. Le correnti elettriche esercitano le une su le altre, anche in distanza, tali mutue azioni attrattive, repulsive e direttive, che si riassumono in questi enunciati:

a) *Due correnti elettriche parallele, una delle quali sia mobile, tendono ad accostarsi quando procedono nel medesimo senso, e tendono a discostarsi se procedono in senso opposto.*

b) *Due correnti rettilinee, formanti angolo tra loro, tendono ad avvicinarsi se procedono nel medesimo verso rispetto al vertice dell'angolo, e tendono invece ad allontanarsi se procedono in opposto verso. Quindi due correnti incrociate, delle quali una sia mobile, tendono a ridursi parallele, ed a dirigersi nello stesso senso.*

dinale di un corrispondente ramo nervoso; mentre non avviene alcuna contrazione se la corrente attraversa il nervo in direzione perpendicolare alla sua lunghezza.

c) L'azione d'una corrente sinuosa eguaglia quella d'una corrente rettilinea di eguale intensità e la cui lunghezza sia eguale alla proie-

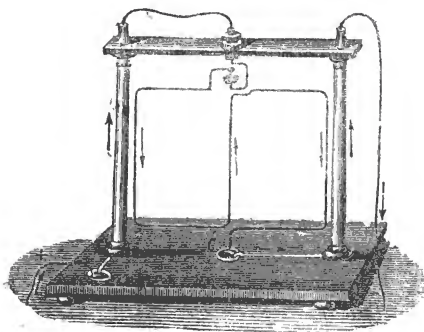


Fig. 258.

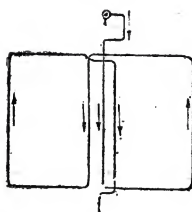


Fig. 259.

zione della prima sulla normale alla direzione che si considera, purché la distanza alla [quale s'esercita l'azione sia molto grande per rispetto all'ampiezza delle sinuosità.

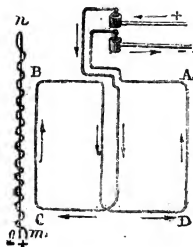


Fig. 260.

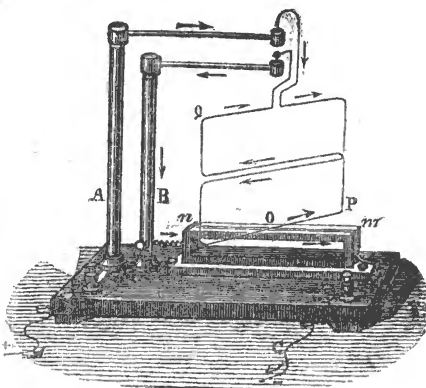


Fig. 261.

d) Le singole porzioni d'una stessa corrente spiegano fra loro una reciproca azione ripellente.

CANTONI. *Elementi di Fisica.*

Da questi fatti si desumono i seguenti corollari:

1.^o Avendosi una corrente orizzontale, fissa ed indefinita, ed altra corrente rettangolare o circolare, chiusa e mobile attorno l'asse di figura verticale, la seconda si dirige e si ferma in una posizione d'equilibrio stabile, lorchè la corrente mobile, nel tratto inferiore più vicino alla corrente fissa, riesce parallela a questa e diretta nel medesimo verso.

2.^o Un *solenoido* cilindrico, disposto col suo asse orizzontale, equilibrato e girevole attorno una retta verticale, essendo percorso da una corrente, e vicino ad altra corrente rettilinea orizzontale, passante per la stessa verticale, si dirige, per fissarsi col suo asse, in direzione perpendicolare a codesta corrente rettilinea, ed in tal modo da avere a sinistra di questa il suo estremo per cui entra la corrente, se è *sinistrorso*, e di averla a destra, se il solenoido è *destrorso*.

I precedenti fatti vennero formulati da Ampère (1820), e da lui verificati in molti e svariati modi, con ingegnosi apparecchi ne' quali i fili metallici percorsi dalle correnti possono con facilità prestarsi ai diversi movimenti sovra considerati.

Denominò *solenoido* (da *solen*, tubo) una spirale formante un tubo cilindrico, le cui spire sottili e serrate, ma tra loro isolate, essendo percorse da una corrente elettrica, formano un sistema di correnti chiuse, circolari, eguali, dirette nello stesso senso e coi loro centri in una retta, alla quale sono perpendicolari i loro piani. Lo disse

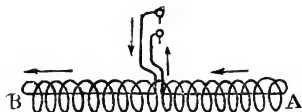


Fig. 262.

poi *sinistrorso*, quando la spirale procede superiormente da destra a sinistra rispetto all'asse, e *destrorso*, quand'essa procede invece da sinistra a destra. E per fissare poi la destra o la sinistra d'una corrente (come nel precedente 2.^o corollario), egli immagina una persona sdraiata lungo la corrente coi piedi all'ingresso della medesima (dalla banda del polo positivo della pila) e colla faccia rivolta a quell'altra corrente su la quale essa agisce.

Azioni mutue tra correnti e magneti.

§ 330. Le correnti elettriche esercitano tali azioni sui magneti, che si riassumono nella seguente proposizione: *Un magnete tende a di-*

rigersi ad angolo retto d'una corrente elettrica ad esso vicina, e di tal modo che il suo polo australe riesca alla sinistra della corrente stessa.

Siffatte azioni vennero prese in esame da Oersted (1820), benchè

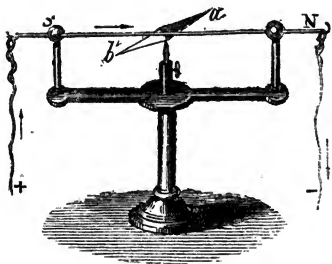


Fig. 263.

notate prima da altri. Avendosi un ago magnetico in posizione d'equilibrio stabile rispetto al magnetismo terrestre, ed un filo metal-

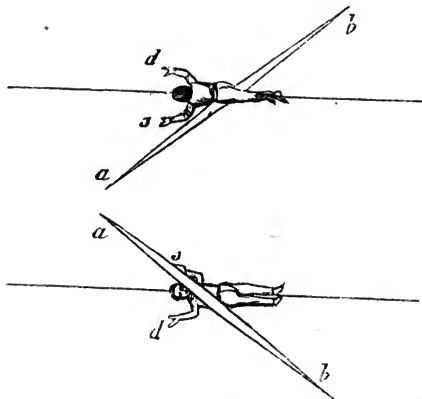


Fig. 264.

lico rettilineo, disposto parallelo all'ago, ora nel piano verticale, ora nel piano orizzontale, corrispondenti questi alla linea dei poli del-

l'ago stesso, e venendo di poi il filo percorso da una corrente elettrica, l'ago si muove in diversi modi secondo i casi. Qui di seguito si nota il movimento fatto dal polo australe dell'ago in otto diversi casi, considerati da Oersted:

		<i>Corrente diretta</i>	
		<i>da S. a N.</i>	<i>da N. a S.</i>
<i>Corrente situata</i>		<i>Il polo australe</i>	
<i>nel piano verticale dell'ago</i>			
Superiormente	devia ad O.		devia ad E.
Inferiormente	» ad E.		» ad O.
<i>nel piano orizzontale dell'ago</i>			
Ad E. di esso	s'innalza		si abbassa
Ad O. di esso	si abbassa		s'innalza

Tutti questi diversi movimenti offerti dall'ago in opera della corrente, furono raccolti da Ampère (1826) sotto l'unico enunciato della suesposta proposizione, ritenendo la corrente personificata come si disse nella proposizione antecedente e colla faccia rivolta all'ago.

§ 331. Quale reciproca della proposizione precedente, verificasi pure che *una corrente mobile tende a disporsi ad angolo retto ri-*

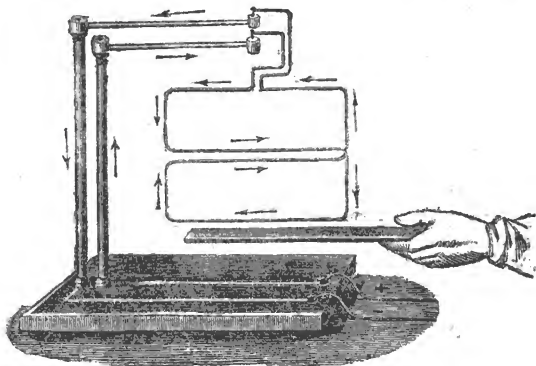


Fig. 265.

spetto all'asse di un magnete, e per modo d'avere alla sinistra il polo australe di questo.

Perciò un solenoide cilindrico si dirige col suo asse parallelo alla linea dei poli d'un magnete, sicchè il polo australe di questo riesca a sinistra delle porzioni delle correnti che lo guardano.

Analogamente, una corrente di forma circolare o rettangolare, gi-

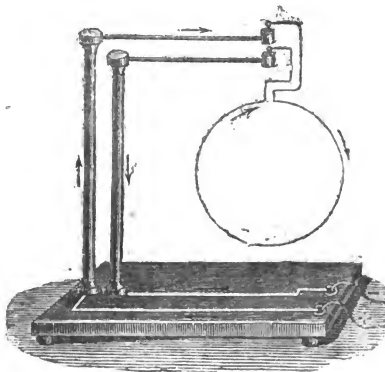


Fig. 266.

revoles attorno ad un asse verticale, in virtù del magnetismo terre-

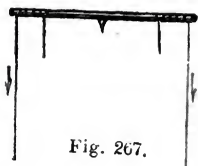


Fig. 267.

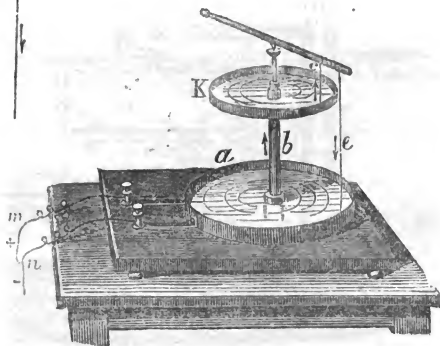


Fig. 268.

stre', si dirige in un piano perpendicolare al meridiano magnetico, per modo che nella porzione inferiore la corrente sia diretta da E.

ad O., poichè così il polo australe della terra riesce alla sinistra della porzione stessa di corrente (vedi fig. a pag. 613).

Una corrente diretta verticalmente, se è equilibrata e girevole attorno un asse verticale, si dispone ad E. di questo, ove sia discendente: che se è ascendente, si dispone ad O. dell'asse stesso, ed in ogni caso si dispone in un piano perpendicolare al meridiano magnetico, passante pel detto asse.

E un solenoido, per la semplice azione magnetica della terra, si dirige col suo asse di figura a seconda del meridiano magnetico e presenta un equilibrio stabile sol quando volga a settentrione quel suo estremo per cui nelle porzioni inferiori la corrente riesce diretta da E. a O.

Galvanometri o Roometri.

§ 332. Abbiasi un filo metallico ripiegato a forma d'un rettangolo, il cui piano coincida col meridiano magnetico d'un ago declinatorio situato nell'interno del rettangolo stesso. Se questo filo è percorso da una corrente, rilevasi dalla legge predetta (§ 330) dover cospirare le azioni dei singoli lati del rettangolo a far deviare l'ago in un massimo senso. Che se il filo stesso coperto di seta, continua ad avvolgersi per molti giri paralleli ad un telaio rettangolare, nell'interno del quale trovisi un ago magnetico, questo presenterà una deviazione sensibile anche per una corrente assai debole, essendo cospiranti le azioni deviatrici dei quattro lati di ciascun giro o di tutti insieme i giri rettangolari.

Da qui il concetto dei *galvanometri o moltiplicatori*, proposti da Schweigger, che servono ad indicare la sussistenza, la direzione e l'intensità relativa delle correnti voltiane. Nobili (1825) li rese più

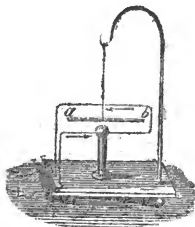


Fig. 269.

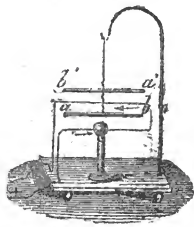


Fig. 270.

sensibili, adoperando invece d'un solo, due aghi, la cui intensità magnetica sia pressochè eguale, e formanti un sistema sorretto in

equilibrio da un sottil filo di seta. I due aghi sono collegati tra loro, colle linee dei poli in uno stesso piano e coi loro poli contrari vòlti da una stessa banda rispetto alla linea neutra, talchè elidonsi in gran parte su di essi le opposte azioni direttrici della terra e ne consegue una ben debole risultante, corrispondente alla piccola differenza tra l'intensità del loro magnetismo. Di più uno di questi aghi trovandosi nell'interno dei giri del filo e l'altro esterno al disopra di essi, cospirano le azioni deviatrici dei lati interposti della corrente su entrambi gli aghi, come può dedursi dal surripetuto enunziato di Ampère. Poco al disotto dell'ago superiore un cerchio graduato orizzontale serve a misurare la deviazione del sistema magnetico (fig. 271).

Per le correnti di origine chimica il filo dev'essere molto sottile (circa mm. 0,4 di diam.) e fare molti giri sul telaio (500 a 2000). Invece per isvelare le correnti d'induzione e le termo-elettriche, delle quali diremo innanzi, il filo dev'essere più grosso e meno lungo, cioè fare un minore numero di giri.

Le deviazioni dell'ago possono ritenersi proporzionali alla intensità delle correnti deviatrici soltanto da 0° a 15° , poichè in generale le deviazioni crescono con una ragione meno rapida di quella degli aumenti nell'intensità.

Tuttavia codesti rapporti possono variare sensibilmente da uno ad altro galvanometro, secondo le loro varie condizioni ed anche in uno stesso strumento col variare dell'intensità magnetica degli aghi. Perciò a determinare l'intensità relativa delle correnti, s'usano di preferenza la *bussola dei seni*, ideata da Delarive (1824) e perfezionata da Pouillet (1836), oppure la *bussola delle tangenti* (immaginata dallo stesso Pouillet, 1837), colle quali le intensità di

due correnti sono ritenute proporzionali rispettivamente ai seni od alle tangenti degli angoli di deviazione.

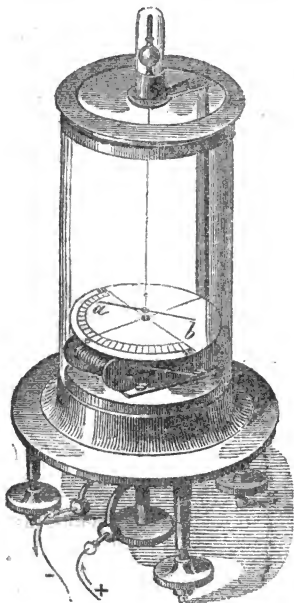


Fig. 271.

In questi stromenti, che ben si potrebbero chiamare *roometri*, un ago magnetico ha il suo centro di rotazione nel centro d'un grande anello, sulla cui circonferenza passa con uno o più giri il filo che è percorso dalla corrente. Però un solo apparecchio può servire ai due intenti. Con un ago magnetico lungo serve come bussola dei seni, e con una corta verghetta magnetica come bussola delle tangenti. Nel

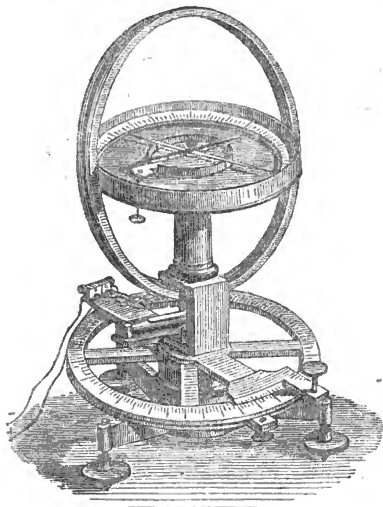


Fig. 272.

primo caso si fa ruotare il quadrante superiore sinchè il piano mediano dell'anello verticale portante il reoforo riducesi coincidente col piano verticale passante per la linea dei poli dell'ago, e si legge sul cerchio graduato inferiore l'angolo corrispondente a questa rotazione. Nel secondo caso si legge direttamente la deviazione fatta dalla verghetta magnetica restando, come dapprincipio, il detto piano mediano dell'anello verticale nel meridiano magnetico passante per l'asse di sospensione dell'ago e di rotazione dell'anello (fig. 272).

È pur molto vantaggiosa la bussola di Weber, la quale meno si scosta nella forma dai comuni galvanometri: però le deviazioni d'una verga magnetica, sospesa ad un filo, dovendo essere pochi gradi al più, se ne rilevano le piccole frazioni col riferire su di una lontana scala le deviazioni di un raggio luminoso riflesso da uno specchietto collegato col filo di sospensione della verga.

Talora, per confrontare tra loro correnti di intensità molto differente, s'introduce nel circuito il filo di un *reostato*, ideato da Whea-

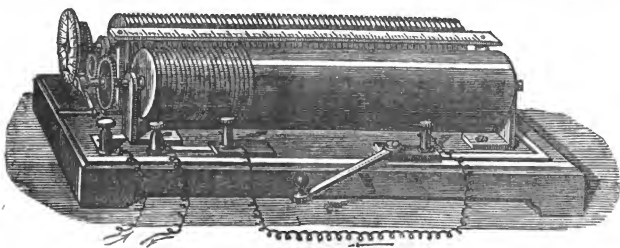


Fig. 273.

stone, col quale si può variare a piacimento la lunghezza del circuito e quindi la esterna resistenza per la corrente, svolgendo od avvolgendo un filo metallico ora su un cilindro conduttivo ed ora su un cilindro di legno.

Elettro-calamite.

§ 333. *Un solenoido, percorso da una corrente elettrica, presenta*

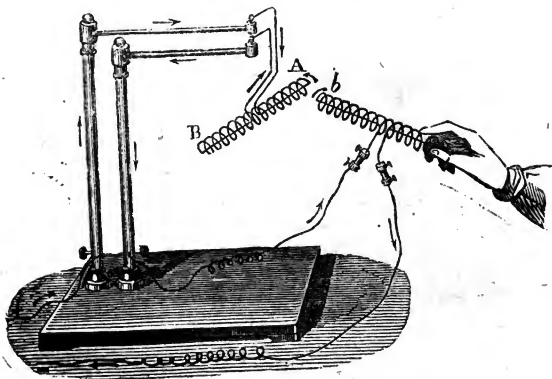


Fig. 274.

i fenomeni della polarità, magnetica al pari d'una calamita.

Tanto potrebbesi già inferire dai fatti or accennati, che un solenoido

si dirige secondo il meridiano magnetico sia d'una calamita, sia della terra, e trova un equilibrio stabile sol quando ha un certo suo estremo volto al polo boreale del magnete o della terra. Inoltre i due estremi d'un solenoide risentono un'opposta azione da un dato polo d'un magnete che loro s'accosti, cioè se l'uno è attratto, l'altro vien respinto.

Due solenoidi, l'uno dei quali sia mobile, si comportano come due aghi magnetici, cioè avvicinando successivamente gli opposti estremi dell'uno ad un estremo dell'altro, ora verificasi la mutua attrazione ed ora la ripulsione.

Il polo australe d'un solenoide corrisponde a quell'estremo che, guardato di fronte, presenta una corrente circolare in cui la parte discendente è a sinistra, l'ascendente a destra, e nella parte inferiore la corrente è diretta da sinistra a destra dell'osservatore. Perciò in un solenoide sinistrorso il polo australe è all'estremo per cui entra la corrente, ed in uno destrorso è polo australe quell'estremo per cui la corrente esce dal solenoide.

§ 334. *Una verga di ferro dolce o d'acciaio, disposta perpendicolarmente ad una corrente elettrica, acquista la polarità magnetica presentando il suo polo australe alla sinistra della corrente stessa.* Però la polarità così indotta nella verga è temporanea nel ferro dolce, scomparendo col cessare della corrente, e mantiensì invece permanente nell'acciaio.

Un filo metallico attrae la limatura di ferro (non però quella del

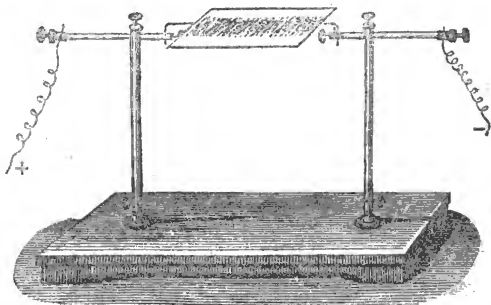


Fig. 275.

rame ed altri metalli non magnetici) fintanto che passi per esso una corrente elettrica. Disponendo un telaino con carta ben tesa sovra

un filo che traduca un'energica corrente voltiana, facendovi cader sovra con un cribro fina limatura di ferro, questa formerà una serie di filamenti paralleli tra loro e normali all'asse del filo. Anzi, quest'orientamento dei filamenti si disegnerà meglio, percuotendo con delicatezza il telaino, talchè la limatura vibri per l'elasticità della carta tesa (fig. 275).

Similmente alcuni sottili aghi di ferro o di acciaio si fissano perpendicolarmente alla corrente, e danno indizi d'essere polarizzati: però quelli di acciaio conservano la polarità magnetica così acquistata. Che se l'ago è tenuto parallelo alla corrente, punto non si magnetizza.

Con un filo metallico, avvolto in forma di elica cilindrica su d'un tubo di vetro senza che le spire si tocchino tra loro, e percorso da

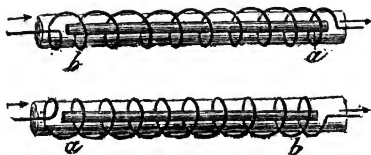


Fig. 276.

una corrente, meglio s'ottiene di magnetizzare una verga di ferro o d'acciaio posta entro il tubo, col suo asse perpendicolare alle singole spire. Se l'elica è sinistrorsa, il polo australe della verga riesce all'estremo per cui entra la corrente; se è destrorsa, quel polo risulta al capo d'onde la corrente esce dall'elica: epperò in entrambi i casi, secondo la legge d'Ampère (§ 330), il polo australe della magnete risulta a sinistra della corrente. Facendo cessare la corrente, o togliendo la verga dall'interno dell'elica, la verga non conserva la polarità, se è di ferro dolce, la mantiene se è di acciaio: confermandosi in ciò la coibenza magnetica dell'acciaio (§ 298).

Questi fatti vennero riscontrati primamente da Arago (1820), il quale li ottenne, benchè meno rilevanti, anche facendo passare pel filo anzitutto la scarica di ampie condensatore. Savary osservò che la magnetizzazione colle correnti voltiane non è punto svigorita interponendo qualsiasi corpo isolante tra la verga e la corrente, mentre riesce poco sentita ed anche nulla, frapponendo un grosso tubo metallico di rame o d'altro corpo buon conduttore dell'elettricità. La ragione di quest'ultimo fatto la si rileverà nel capo seguente.

Diconsi perciò *elettro-calamite* o *calamite temporarie*, i magneti costituiti da una verga di ferro dolce piegata ad U, i cui estremi

sono circondati da due spirali cilindriche formate da un filo continuo coperto di seta, che procede nel medesimo verso nei due rami. Essi diventano poderose calamite, quando pel filo passa una corrente

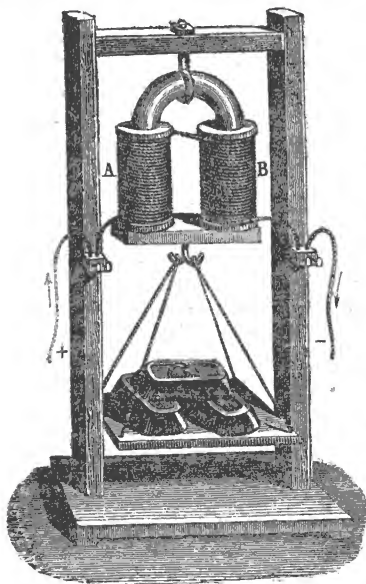


Fig. 277.

voltiana e valgono a sorreggere rilevanti pesi, munite d'un' ancora, a guisa delle calamite permanenti. Una grossa verga di ferro dolce di un decimetro di diametro, piegato ad U, col filo delle spirali lungo metri 600, e colla corrente data da 40 coppie di Bunsen, valse, coll' ancora, a portare 10 tonnellate. Secondo Jacobi e Lenz, la forza magnetica così provocata nel ferro dolce è proporzionale all'intensità della corrente, al numero dei giri della spirale ed al diametro della verga cilindrica di ferro, sia poi essa piena o cava nell'interno. Però la forza dell' ancora per reggere pesi diminuisce rapidamente colla distanza di essa dalle estremità dell'elettro-magnete. Così, ad esempio, un magnete temporario, che reggeva chilog. 200 coll' ancora a contatto, ne resse

solo 90, stando questa discosto di mill. 0,1, e ne portò appena 40 alla distanza di mill. 0,5.

Le elettro-calamite ricevettero molte ed utili applicazioni. Nel telegrafo elettrico di Morse la *macchina scrivente* ed il *relais* vengono messi in azione da elettro-magneti, i quali riescono polarizzati, e quindi attraggono l'ancora sol quando il telegrafista trasmettitore tiene abbassato il *tasto*. In varie macchine motrici sonvi elettro-calamite che, colle intermittenze nella polarizzazione, producono moti alternativi in alcune verghe di ferro, poste a guisa di ancora.

Ipotesi relative ai fenomeni elettro-magnetici.

§ 335. In base ai precedenti fatti, Ampère immaginò che una calamita retta, al pari d'un solenoide, risulti d'un sistema di correnti perpendicolari al di lei asse, e quindi tra loro parallele, circolanti attorno alla sua superficie, sempre nello stesso verso, ed in tal modo che, disposta la calamita nel meridiano magnetico col polo australe

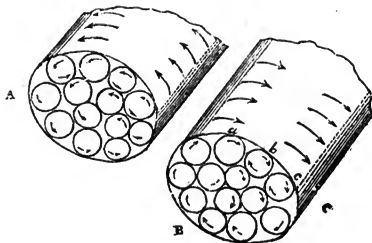


Fig. 278.

volto a N., come naturalmente essa si dispone pel magnetismo terrestre, le correnti procedano da E. ad O. nella faccia inferiore, da O. ad E. nella faccia superiore, siano discendenti nella faccia volta ad E. ed ascendenti in quella volta ad O. Questo andamento ipotetico delle correnti, conforme a quello d'un solenoide diretto in equilibrio stabile pel magnetismo terrestre (§ 331), si manifesta presentando le varie facce d'un magnete ad una corrente mobile *astatica* (nella quale per due opposte correnti riesca neutralizzata l'azione direttrice della terra), con riguardo alle leggi delle mutue azioni delle correnti (§ 329).

Però cosifatte correnti, secondo Ampère, circolerebbero attorno le singole molecole del corpo magnetico, disposte e dirette in modo affatto irregolare, sì da neutralizzarsi scambievolmente per rispetto alla loro azione esterna, quando il corpo stesso non offre la polarità magnetica; laddove poi colla magnetizzazione, codeste correnti molecolari assumerebbero un andamento conforme, coll'orientarsi di tutte le molecole in egual modo. Epperò, in allora, esse risulterebbero dirette in contrario verso nelle parti affacciate di due contigue correnti, e le correnti degli strati interni sarebbero mano mano neutralizzate dalle contrarie correnti degli strati che li involgono; co-

sicchè rimarrebbero efficaci, per riguardo all'esterno del magnete, soltanto le correnti delle molecole formanti lo strato superficiale, nelle quali riuscirebbero dirette tutte nel medesimo verso nella loro parte esterna.

In simil modo si pensò di attribuire la polarità magnetica della terra (§ 300) ad un sistema di correnti circolanti su la di lei superficie, e dirette da E. ad O. Il globo immaginato da Barlow (1831),

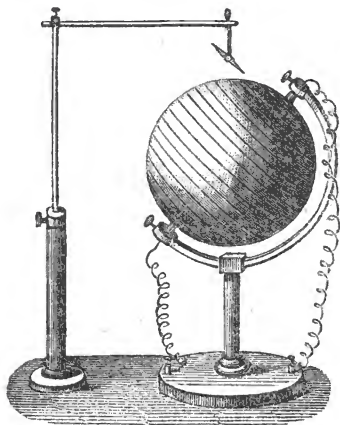


Fig. 279.

che riproduce i fenomeni di declinazione e d'inclinazione degli aghi magnetici, mercè un sistema di correnti elettriche circolanti attorno una sfera di legno, giova a schiarire e ad appoggiare codesta supposizione (fig. 279).

Per quanto codesta ipotesi risponda all'intento di collegare tra loro i fenomeni elettrici coi magnetici, è facile vedere che l'intento istesso si faggiunge con altra ipotesi, che può dirsi il rovescio della precedente. Cioè può supporre che un filo conduttivo, nell'atto in cui traduce una corrente elettrica, assuma tale un *magnetismo trasversale*, per cui ciascuna sezione trasversale di esso rappresenti un circuito di elementi magnetici, orientati secondo una regolare polarizzazione, e così diretti che per un punto situato nel piano della sezione ed all'esterno del circuito immaginato riesca alla destra della corrente (personificata al modo d'Ampère) la risultante australe delle azioni polari dei predetti elementi. Epperò gli aghi magnetici all'e-

sterno del reoforo dovranno essi pure costituire un circuito magnetico, dove l'orientazione polare sarà inversa di quelle de' predetti elementi del reoforo. E così anco, nell'interno del reoforo, i circuiti,

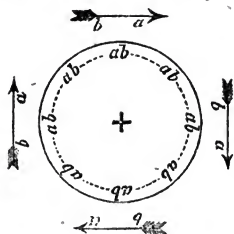


Fig. 280.

Sezione del reoforo
volta all'elettrodo +

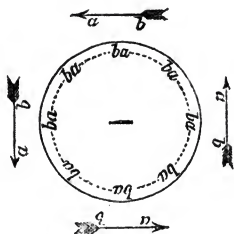


Fig. 281.

Sezione del reoforo
volta all'elettrodo -

mano mano contenuti gli uni negli altri, avranno le loro orientazioni opposte tra loro.

Questa seconda ipotesi può con pari facilità dar ragione dei fatti raccolti nel § 329 e seguenti, interpretando le azioni in distanza delle correnti con azioni magnetiche (a).

Correnti d'induzione.

§ 336. Le esperienze di Govi (pag. 537, Osser. 26.^a) fanno manifesto che al cominciare ed al finire dell'elettrizzazione per induzione d'un corpo coibente discontinuo avvengono due fugaci serie di scariche intermolecolari, le quali ponno denominarsi *scariche d'induzione*. Esse, probabilmente, corrispondono all'orientazione elettrica o polarizzazione delle molecole del corpo, ed al conseguente moto di disorientazione o depolarizzazione delle molecole.

Ora dobbiam mostrare che ad ogni atto di elettrizzamento, incipiente o cessante, per qualsiasi modo eccitato, ed in qualunque sorta di corpo avvenga (conduttore o coibente), si producon sempre siffatte scariche d'induzione, le quali furono poi dette *correnti indotte*.

Un corpo conduttore tanto nell'atto in cui viene elettrizzato per induzione o per comunicazione, quanto nell'atto in cui cessa in esso

(a) Veggasi nelle mie *Lezioni di fisica*, pag. 408 a 422, lo svolgimento ch'io diedi a quest'ipotesi, in quanto parmi che essa presenti parecchi vantaggi sull'altra.

lo stato elettrico, offre una *scarica indotta*: però tali due scariche elettriche sono dirette in opposto senso l'una dell'altra.

Un sistema di corpi conduttori, a far parte del quale entri il filo d'un galvanometro, può mettere in evidenza codeste scariche indotte momentanee, come nelle sperienze seguenti.

a) Pongasi d'avere i due dischi del condensatore di Epino, siccome fece il prof. Marco (1870), disposti così che l'un d'essi disti di poco da un conduttore isolato elettrizzabile per comunicazione, e sia congiunto coll'altro a mezzo d'un reoforo comprendente nell'arco conduttore un galvanometro sensibile a filo lungo e sottile. Se al conduttore isolato si comunicherà una scarica elettrica, s'avrà d'un tratto una deviazione galvanometrica, accennante una scarica diretta dal disco che risulta in tensione negativa all'altro, cioè dal disco che guarda l'induttore positivo o che sta più lontano dall'induttore negativo. Lo stesso accadrà accostando rapidamente l'inducente al disco prossimo. Ma dopo questa scarica, se l'inducente non varia di tensione, l'ago si riduce tranquillo. Però, scaricando od allontanando l'induttore, il galvanometro accennerà una scarica diretta di verso contrario al precedente, cioè dal disco che era in tensione positiva verso l'altro.

Analogamente io ed il prof. Brusotti provammo (1869) che, avendosi un elettroforo, formato da un disco di gomma elastica indurita, giacente su un piatto metallico, per bene isolato e coperto di uno scudo con manico isolante, quando il piatto e lo scudo comunicano col filo d'un galvanometro, e quando la lamina coibente elettroforica sia già stata polarizzata, s'ottiene una scarica elettrica nel reoforo, accennata dalla deviazione galvanometrica (pag. 563), tanto col sollevare lo scudo dal coibente polarizzato quanto coll'avvicinarvelo, dopo averlo tenuto sospeso per alcun tempo. Queste due scariche indotte sono dirette in opposto senso tra loro, e sempre accennano che l'armatura mossa tende ad acquistare tensione omonima a quella della corrispondente faccia del coibente polarizzato nell'atto dell'accostamento, e tensione contraria nell'atto di discostamento. Perciò nel primo caso la scarica indotta è tale che, per sè, tende a produrre repulsione fra inducente ed indotto, e nell'altro attrazione.

Laonde, *coll'avvicinamento s'ha momentaneamente una scarica diretta in senso contrario a quella che tenderebbero a produrre fra loro le due facce del coibente per rispetto alle tensioni loro proprie, e col discostamento invece la scarica indotta riesce di senso concorde a quello di questa.*

b) Un filo conduttore, teso parallelamente e poco discosto da altro filo, è percorso da una corrente momentanea, tanto nell'atto

che si determina nel secondo filo una corrente voltiana, quanto nell'atto che questa vien interrotta. Tali correnti, di brevissima durata, nel filo conduttore diconsi *correnti indotte*: però la prima è detta *inversa*, poichè scorre per esso in verso contrario di quello della corrente induttrice, e la seconda dicesi *diretta*, procedendo nel medesimo verso.

c) Anche accostando o discostando con rapidità la corrente dal filo conduttore, oppure aumentandone o diminuendone rapidamente l'intensità, il filo stesso è percorso da momentanea corrente indotta, la quale è inversa nei casi dell'avvicinamento e dell'aumento d'intensità, ed è diretta negli altri due casi or accennati.

d) Pur avvicinando o discostando rapidamente un estremo di un solenoide, od un polo d'un magnete ad un filo conduttore, teso perpendicolarmente al loro asse, si provoca in tal filo una corrente indotta, che è inversa coll'accostamento, e diretta col discostamento, avuto riguardo all'andamento della corrente induttrice in ciascuna spira del solenoide, ovvero all'andamento delle correnti superficiali supposte nel magnete (§ 335).

e) Analoghe correnti induce la terra nei conduttori che scorrono sulla di lei superficie in direzione perpendicolare ai meridiani magnetici.

I suindicati fenomeni, scoperti da Faraday (1831), riescono assai distinti adoperando, invece d'un semplice filo rettilineo, due spirali

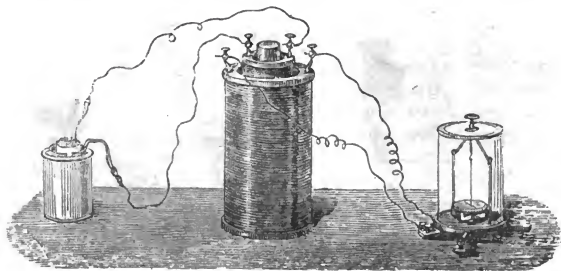


Fig. 282.

piatte affacciate, oppur due spirali cilindriche, l'una nell'interno dell'altra, una a filo sottile, comunicante con un galvanometro, avente il filo corto, l'altra a filo grosso che si fa percorrere da una corrente voltiana, od anche dalla scarica di capace condensatore elettrico. Aprendo e chiudendo il circuito voltaico nell'una spirale, aumentando in essa o diminuendo l'intensità della corrente, oppure

avvicinandola o discostandola dall'altra, questa è percorsa da una corrente di brevissima durata.

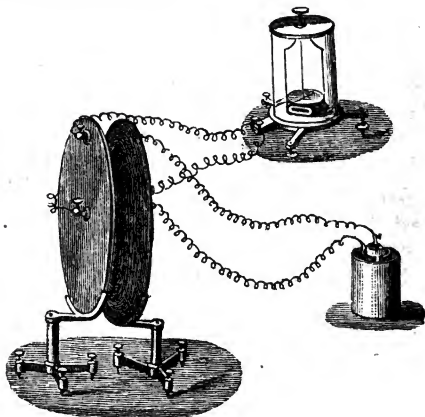


Fig. 283.

Similmente, avvicinando o discostando un magnete od un solenoide

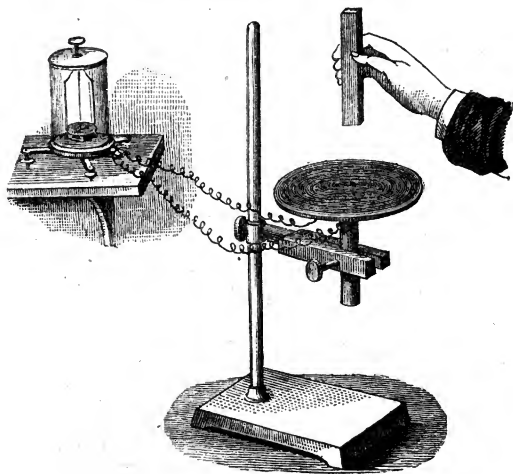


Fig. 284.

coll'asse diretto perpendicolarmente al piano della spirale piatta a filo sottile, oppure introducendo o l'estraendo il magnete od il sole-

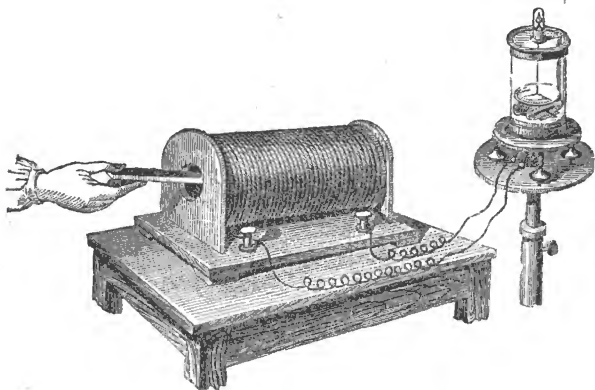


Fig. 285.

noido dal cavo della spirale cilindrica a filo sottile, la spirale stessa accenna al galvanometro, situato a qualche distanza, una corrente momentanea. Ed in ogni caso è facile riconoscere qual sia la direzione della corrente indotta, e com'essa corrisponda alle leggi suesposte.

Usando le due spirali cilindriche, si rileva altresì che, ponendo nell'asse della spirale interna a filo grosso una verga di ferro dolce, le correnti indotte nella spirale esterna, si all'aprire che al chiudere del circuito nella prima, sono molto più intense di quando non vi è la verga di ferro. Poichè questa, magnetizzandosi e smagnetizzandosi appunto nell'atto che si chiude e si apre il circuito nella spirale induttrice, provoca nella spirale esterna due correnti indotte (nel primo caso inversa, e nel secondo diretta) le quali si sommano con quelle direttamente provocate nel medesimo verso dalla corrente induttrice al suo cominciare ed al suo cessare. i

Anche il magnetismo terrestre provoca correnti d'induzione ne corpi conduttori muovendosi con rapidità su la superficie terrestre secondo una direzione perpendicolare o pur anco obliqua al meridiano magnetico, come osservarono Faraday e Nobili. Anzi Palmieri (1845) si valse del magnetismo terrestre per promuovere correnti indotte assai intense. Su d'un anello ellittico in legno, di met. 1,3 per 0,8 è avvolto per circa 200 giri, tra loro isolati, un filo di rame grosso

mill. 1,5. L'anello è fatto ruotare celeremente attorno al suo asse maggiore, che è diretto perpendicolarmente al meridiano magnetico.

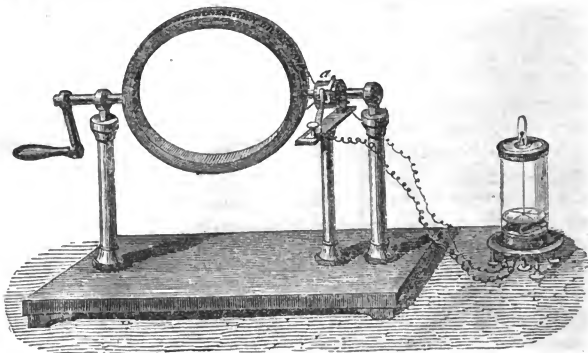


Fig. 286.

Le correnti d'induzione si succedono con rapidità nel filo, mentr'esso ora s'accosta ed ora si discosta dal suolo; però le correnti essendo ora inverse ed ora dirette, un congegno, denominato *commutatore*, serve a dirigerle tutte egualmente in medesimo verso pel reoforo, e così possono ottenersi decomposizioni chimiche, forti commozioni nelle persone, scintille, ed effetti termici e magnetici, come dalle correnti voltiane. Qualora l'asse di rotazione dell'anello fosse diretto parallelamente all'angolo d'inclinazione, l'induzione sarebbe nulla.

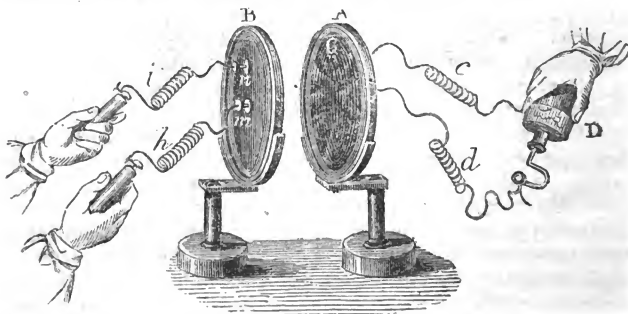


Fig. 287.

Colle spirali piane si può dimostrare che anco le scariche esplosive d'una boccia o d'un coibente armato qualunque ingenerano cor-

renti d'induzione diretta, le quali però non sono sensibili col galvanometro (attesa la quasi eguaglianza delle due correnti che costituiscono la scarica stessa), ma diventano sensibili cogli effetti fisiologici, applicando le mani umide agli elettrodi della spirale indotta, a filo sottile (v. fig. 287).

§ 337. E poichè quando la corrente indotta è inversa rispetto all'induttrice, la loro reazione dinamica è ripulsiva, ed è invece attrattiva (§ 329) quando la indotta è diretta, i diversi casi sovra considerati si possono riassumere colla seguente legge, formulata da Lenz:

Quando, pel moto relativo d'una corrente o d'un magnete rispetto ad un conduttore, s'induce in questo una corrente, essa è così diretta che la di lei reazione elettro-dinamica su la corrente induttrice tende a produrre un moto contrario al moto effettivo, e quindi que' due corpi tendono a respingersi mutuamente se si avvicinano, o ad attrarsi se si discostano (a).

A conferma di codesta legge si citano molti esperimenti.

a) Una sfera di rame sta sospesa ad un filo elastico dianzi attorto, frammezzo ai poli d'una forte elettro-calamita, il cui circuito sia

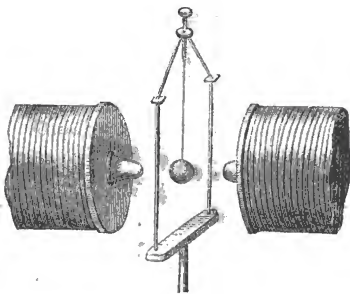


Fig. 288.

aperto. Lasciata poi libera la sfera, mentr'essa, per l'elasticità del filo, ruota rapidamente attorno al suo diametro verticale, si ferma quasi repentinamente, chiudendo il circuito, poichè correnti indotte su la superficie ruotante dall'elettro-magnete tendono, per la rea-

(a) È facile riconoscere la completa analogia tra questo enunciato e quello dedotto sopra a pag. 473 dalle sperienze su le cariche prodotte dal movimento nelle armature d'un elettroforo.

zione elettro-dinamica colle correnti induttrici, a farla ruotare in verso opposto a quello determinato dallo storcarsi del filo. Ed aprendo poi il circuito, indi chiudendolo di nuovo, si riproduce e si arresta ancora, ad arbitrio, il moto rotatorio della sfera (a).

b) Però codesta resistenza incontrata dalla sfera a continuare il

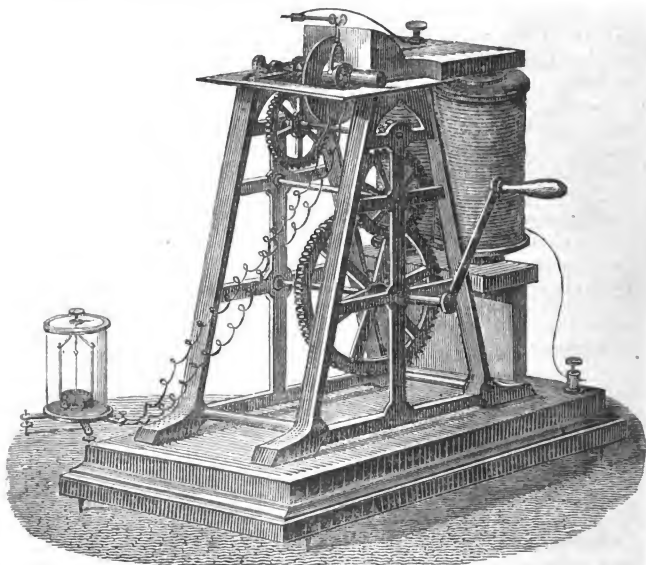


Fig. 289.

proprio moto rotatorio, provoca, come osservò Foucault (1855), una trasformazione in calore della di lei forza viva. Per mezzo d'un si-

(a) Veramente le correnti d'induzione, nel modo in cui sono comunemente intese, ponno bensì dar ragione del rallentarsi della rotazione, ma non ponno punto spiegare il ridursi ferma e lo star ferma della sfera. Poichè, come diremo anche innanzi, l'intensità delle correnti indotte dal movimento, essendo pure in funzione della velocità di questo, dovrebbe riuscir nulla quando la velocità stessa si annulla. Perciò altrove io mostrai la necessità di spiegare questi fatti ed altri analoghi mediante una modificazione polare permanente indotta nel corpo conduttore dall'elettro-calamita (Vedi le succitate *Lezioni*, pagina 430 e seg.).

stema di ruote ad ingranaggi mosso da manovella, imprimendo un velocissimo moto di rotazione ad un disco di rame frammezzo ai poli assai avvicinati di poderosa elettro-calamita, quando questa è polarizzata dalla corrente, si risente una resistenza maggiore d'assai a girar la manovella onde mantenere il moto rotatorio nel disco, tanto da stancare in breve anche un robusto operatore, ed infrattanto il disco si scalda sensibilmente, come può riconoscersi disponendo in prossimità di una delle basi del disco la faccia d'una pila termo-elettrica.

Questi fatti riescono anche di chiara conferma dei principii della teoria dinamica del calore, e della piena tramutabilità delle forze fisico-meccaniche.

c) Merita pure ricordo quest'altro caso. Un disco metallico ruota intorno al suo centro, rimpetto ad un polo magnetico, situato a poca distanza tra la periferia ed il centro stesso (poichè non avviene il fenomeno se l'asse di rotazione del conduttore coincide coll'asse del magnete). Per induzione si promuovono nel disco correnti dirette secondo i suoi raggi, epperò perpendicolarmente alla direzione della rotazione d'ogni suo punto, che mano a mano s'avvicina e si scosta rispetto al polo magnetico; ed il verso di tali correnti muta colla natura e la posizione del polo magnetico e col verso della rotazione, ma è sempre conforme alla legge di Lenz. Perciò, in ogni caso, codeste correnti indotte nei varii punti superficiali del disco procedono nello stesso verso, sia pei raggi che s'accostano, sia per quelli che si scostano dal polo magnetico, ed hanno massima intensità quelle che si provocano in prossimità di esso.

Già aveva osservato Arago (1824), che una verghetta magnetica declinatoria, situata presso un disco metallico orizzontale, il cui asse

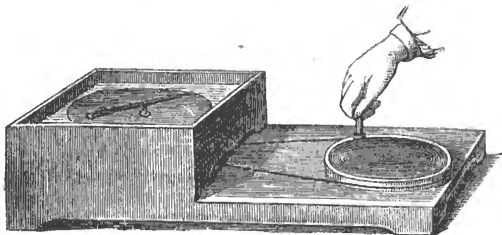


Fig. 290.

verticale di rotazione coincida con quello della calamita, vien deviata dal meridiano magnetico, e tanto più quant'è maggiore la velocità di rotazione del disco, e può persino assumere anch'essa un moto

rotatorio sul proprio perno a seconda di quello del disco, benché essa si trovi da questo separata per una lastra di vetro, che impedisce la trasmissione del moto dell'aria. Quest'azione deviatrice è più distinta coi metalli meglio conduttori (argento e rame); s'affievolisce di molto praticando nei dischi delle fenditure a seconda dei raggi, e riesce insensibile coi dischi di materie poco o punto conduttrici.

Cosiffatti fenomeni, impropriamente chiamati di *magnetismo di rotazione*, vennero spiegati da Faraday (1832), mostrando essere provenienti dalle correnti indotte dalla calamita stessa nei dischi conduttori e dalla reazione che questi esercitano su di essa, per cui in questa si provoca un moto contrario a quello del disco, che suscita le correnti stesse. E ciò ancora in accordo colla suindicata legge di Lenz.

Egli è per lo stesso principio che un ago galvanometrico, come pure avvertì Arago, per ridursi in quiete da che fu deviato dalla linea d'equilibrio, fa un numero assai minore di oscillazioni se è in prossimità d'un metallo buon conduttore, qual sarebbe il rame, che non ne faccia sovrastando ad un corpo coibente.

§ 338. Anche *nell'atto che un filo conduttore, servente da reoforo, comincia ad essere percorso da una corrente voltiana, chiudendone il circuito, manifesta in sè stesso una corrente indotta inversa; come pure, nell'atto che la corrente cessa, aprendo il circuito, quel filo manifesta una corrente indotta diretta.*

Queste correnti momentanee indotte nello stesso reoforo furon dette *extra-correnti* da Faraday.

S'è detto più addietro che una corrente voltiana data da un elettromotore composto di non molte coppie produce una scintilletta più vivace al chiudere che all'aprire del circuito. Ciò avviene d'ordinario quando l'arco interpolare offre poca resistenza. Ma ove questo sia formato da un filo molto lungo, e, massime se è piegato a spirale cilindrica, riesce appena visibile la scintilla al chiudere del circuito, mentre è assai più vivace e d'una sensibile lunghezza quella prodotta coll'apertura del circuito.

Faraday diè ragione di questo fenomeno, già osservato da altri, provando che nella stessa spirale traduce la corrente voltiana si provoca una corrente indotta inversa all'atto che si chiude il circuito ed una corrente indotta diretta nell'atto che lo si apre. La prima di queste, procedendo in contrario senso della corrente induttrice, ne diminuisce l'intensità risultante: invece la seconda, che va nello stesso senso, ne aumenta l'intensità e più ancora la tensione.

Queste correnti promosse in un conduttore, all'atto in cui incomincia o cessa in esso la trasmissione d'una corrente elettrica, e che sono di brevissima durata, meglio che correnti si potrebbero dire *scariche indotte interne* dei reofori.

Però le *quantità* d'elettricità indotte nell'arco interpolare si al chiudere che all'aprire del circuito sono tra loro equivalenti; ma le loro *tensioni* riescono differenti, poichè si producono in tempi differenti: nella corrente diretta la durata dell'azione induttrice essendo più breve, la tensione riesce maggiore che nella corrente inversa.

Laonde una corrente d'una sola coppia Bunsen, la quale non dà commozione sensibile al chiudere del circuito, ne produce una molto sentita in una persona per l'extra-corrente diretta, all'apertura del circuito, quando faccia parte dell'arco interpolare una spirale cilindrica a molti e fitti giri. E più ancora, se nel cavo di questa siavi una verga di ferro dolce, la quale, all'aprire del circuito, smagnetizzandosi, promuove, alla sua volta, una corrente diretta nella spirale stessa, che s'aggiunge all'extra-corrente. Analogamente l'extra-corrente diretta prodotta in una spirale cosiffatta, cospirando colla corrente attiva od induttrice, può esercitare un'azione elettrolitica più efficace che la corrente istessa.

Anche nell'atto che un coibente armato o condensatore elettrico vien scaricato facendo arco tra le due armature, accade una scarica interna indotta, di senso contrario alla scarica principale, la quale è causa della carica elettroforica del condensatore stesso.

§ 339. Le leggi dell'induzione elettro-dinamica, dietro gli studi di Faraday, Lenz, Abria, Weber, Matteucci e Felici si possono così riassumere:

a) L'intensità delle correnti indotte è proporzionale a quella delle correnti induttrici; ed è pure proporzionale al prodotto delle lunghezze dei due circuiti, l'induttore e l'indotto.

b) La forza elettromotrice prodotta per induzione da una determinata quantità d'elettricità riesce costante, qualunque sia la natura del corpo coibente interposto fra l'inducente e l'indotto (a), e qualunque sia la natura del conduttore che subisce l'induzione, e sia poi questo in istato naturale, oppure percorso da altra corrente elettrica, od anche sotto l'induzione magnetica d'una calamita, se è corpo magnetico.

c) Le correnti indotte, inverse e dirette, prodotte nelle stesse condizioni, danno un eguale lavoro: però la corrente inversa ha una

(a) L'interposizione d'un conduttore fra l'inducente e l'indotto non fa variare in questo, siccome avverte Matteucci, le quantità d'elettricità promossa per induzione, e quindi non varia l'azione galvanometrica ed elettrolitica di questa; fa soltanto variare la tensione della corrente indotta, e quindi la scintilla, la scossa e l'azione magnetizzatrice. L'interposizione d'una lamina di ferro o d'altro corpo magnetico affievolisce d'assai l'induzione, a motivo del magnetismo contrario che vi suscita la stessa corrente induttrice.

intensità minore di quella diretta, la quale invece ha una minor durata.

Blaserna (1870) venne dimostrando che le correnti indotte, inverse o dirette, non si formano nell'istante stesso della chiusura o dell'apertura, trascorrendo un tempo apprezzabile tra questo istante e quello in cui la corrente indotta incomincia a prodursi; e questo ritardo è maggiore per la corrente inversa che per la diretta e dipende anzitutto dalla distanza delle spirali e dalla natura del coibente interposto. La corrente indotta poi, appena formata cresce rapidamente d'intensità, giunge ad un massimo ed indi diminuisce, prima rapidamente, poscia lentamente, accostandosi allo zero con una curva assintotica.

Blaserna confermò altresì che la corrente diretta compie queste fasi in un tempo notevolmente più breve che non faccia la corrente inversa, ma le aree delle rispettive curve essendo eguali, accadè che l'intensità massima della prima superi di molto quella dell'altra. La durata di queste fasi per le correnti inverse gli risultò da 15 a 20, e di 10 a 12 diecimillesimi di minuto secondo per le dirette.

Studiò il Blaserna analogamente le extra-correnti, e riconobbe che esse risultano da parecchie oscillazioni, le quali però sono più risentite e più rapide per l'extra-corrente di apertura che per quella di chiusura, mentre poi la durata totale di quest'ultima è notevolmente maggiore.

§ 340. Le correnti d'induzione, quando siano molto intense, producono effetti termici, chimici, magnetici e fisiologici, affatto analoghi a quelli dati dalle correnti voltiane e dalle scariche dei condensatori. Però in esse prevale la tensione alla quantità dell'elettricità.

Con una poderosa calamita artificiale si può formare una macchina capace di produrre intense correnti d'induzione, quali son quelle di Clarke e di Saxton. Su d'una solida tavola è fissata una calamita, composta di molte verghe d'acciaio, fortemente magnetizzate, lunghe circa un metro, e piegate a forma di U. Due rocchelli, aventi nell'asse una verghetta di ferro dolce, e circondati a molti giri da un filo di rame ricoperto di seta e di vernice coibente, si fanno ruotare rapidamente attorno un unico asse, perpendicolare alla linea dei poli magnetici o passante pel di lei punto di mezzo, per modo che, ad ogni mezza rotazione, l'un rocchello che col proprio asse di figura trovavasi rimpetto ad un polo, riesce dirimpetto all'altro polo. Però volta a volta che un rocchello s'accosta o si discosta da uno dei poli, il corrispondente filo è percorso da correnti indotte. E poichè nei due rocchelli il filo è avvolto in contrario verso (nell'uno la spirale è sinistrorso, nell'altro destrorso), la corrente riesce in essi nel medesimo verso, mentre uno s'accosta ad un polo e l'altro all'altro;

e riesce pur concordante, ma in verso opposto del caso precedente, quando l'uno si allontana da un polo e l'altro dal polo contrario della magnete. Quindi le correnti indotte nei due rocchelli, in ogni caso si sommano tra loro, riunendo a due a due i capi dei loro fili: ma esse mutano di verso ad ogni mezza rotazione: però un commu-

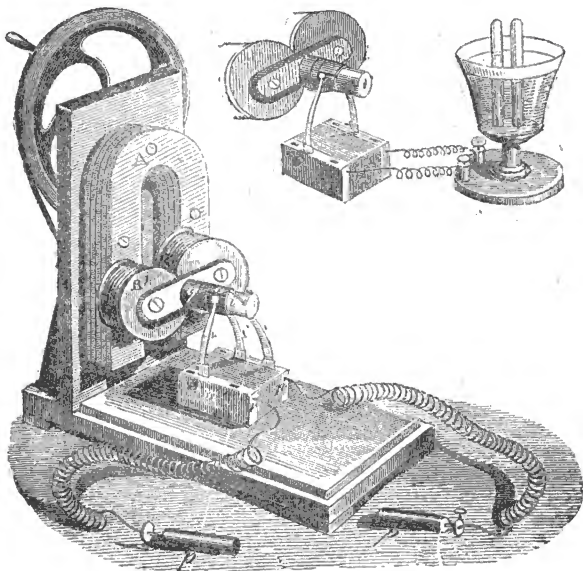


Fig. 291.

tatore le rivolge tutte in un medesimo senso nel reoforo. Sonvi poi due coppie di rocchelli da potersi scambiare: una è coi fili sottili e molto lunghi, e giova per gli effetti chimici e fisiologici; l'altra ha i fili grossi e formanti un minor numero di giri, e giova per gli effetti termici e magnetici.

Correnti d'induzione ancora più valide si ottengono col *Rocchello* di Ruhmkorff, nel quale fanno cospirare le correnti indotte da una calamita temporaria con quelle promosse da una corrente voltiana. Un fascio di grossi fili di ferro dolce, collegati alle estremità da due dischi di ferro simile, lungo circa metri 0,5 e del complessivo dia-

metro di centim. 5, sta nel cavo d'una spirale cilindrica a filo grosso di rame, di circa mill. 2 di diametro, e lungo per modo da farvi intorno circa 300 giri, ben isolati tra loro da vernice coibente. È questa

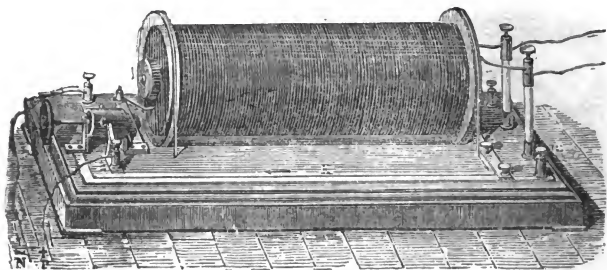


Fig. 292.

a spirale induttrice, la quale per mezzo di un tubo di vetro è separata dalla spirale indotta, formata quest'altra con un filo sottile di rame, del diametro di circa un quarto di millimetro, e lungo di tanto da compiere 25 a 30 mila giri attorno al detto tubo; i singoli giri ed i successivi strati del quale sono ricoperti di seta e d'una vernice coibente. La spirale indotta termina con due dischi di vetro, uno dei quali è attraversato dai due capi del filo, che terminano in due bottoni metallici sorretti da colonnette isolanti di vetro. Sono poi annessi all'apparato: un *commutatore*, per rivolgere in un medesimo senso le correnti indotte, inversa e diretta; un interruttore a lamina elastica vibrante sul mercurio, regolata da apposita elettro-calamita, onde aprire e chiudere alternativamente e rapidamente il circuito nella corrente induttrice; ed un *condensatore* molto ampio in relazione colla spirale induttrice, per attenuarvi gli effetti di tensione dell'*extra-corrente* diretta (fig. 292).

Una corrente data da 8 grandi coppie di Buusen, percorrendo la spirale induttrice, provoca direttamente ed indirettamente, per mezzo della interna calamita temporaria, nella spirale esterna correnti d'induzione atte a produrre nell'*eccitatore*, ove terminano i capi di essa, scintille lunghe circa 35 centimetri, e che succedonsi con tale rapidità da sembrare una lista continua di fuoco. Ponno anche traforare un prisma di vetro grosso sei centimetri (fig. 293).

Applicando un condensatore d'ampia superficie anche alla corrente indotta, le scariche di questa, si rendono meno frequenti, di lunghezza ben minore (al più 2 centimetri), ma d'una luce oltremodo intensa,

e così fragorose, da pareggiare l'esplosione d'una pistola. La quantità d'elettricità di così fatte correnti indotte è tale da poter ca-

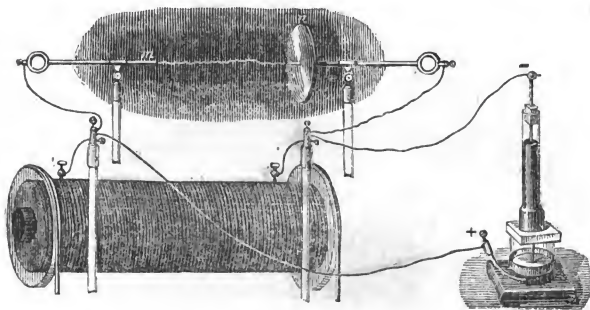


Fig. 293.

ricare in brevissimo tempo ed a forte tensione una ben capace batteria di Leida (fig. 294).

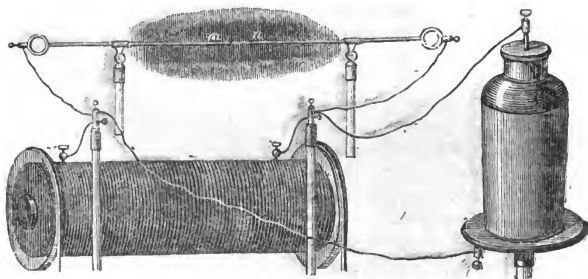


Fig. 294.

Un'altra forma molto efficace di macchina magneto-elettrica ad induzione è quella di Wilde. Un grosso fascio di calamite ad U è inferiormente attraversato da un rocchello cilindrico di Siemens (a),

(a) Nei comuni rocchelli, come quelli della predetta macchina Clarke, il reoforo è avvolto trasversalmente su di un asse in ferro, il quale perciò presenta i poli magnetici alle sue estremità, quando il filo è percorso da una corrente. Invece i rocchelli di Siemens sono costituiti da un grosso e lungo cilindro di

che, ruotando rapidamente in prossimità dei loro poli, vien percorso da correnti indotte alternativamente contrarie, le quali sono ridotte

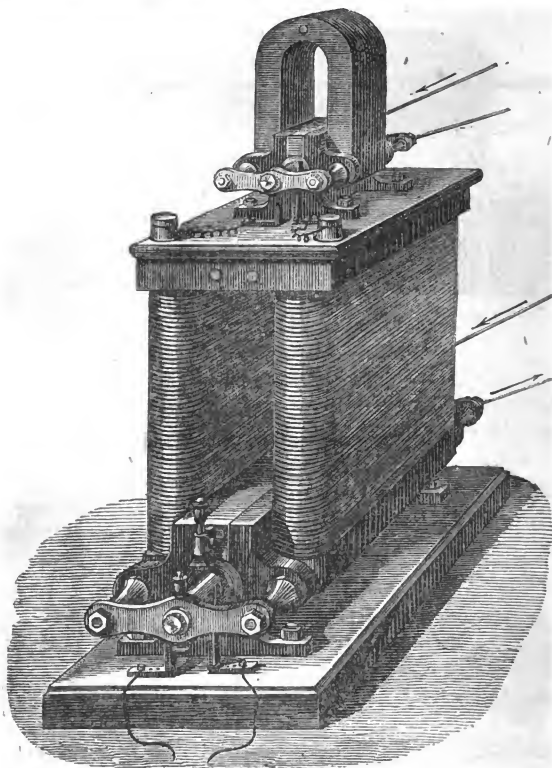


Fig. 295.

concorrenti da un commutatore e gittate in un lunghissimo reoforo d'un poderoso elettro-magnete, formato da tre lastre rettangolari di ferro

ferro, scavato profondamente da due lati opposti; in queste scannellature si avvolge a molti doppi il reoforo, i cui tratti riescono così paralleli all'asse del cilindro. Perciò i poli di questo riescono pure longitudinali, quali sono le due parti sporgenti e non iscavate della sua superficie cilindrica.

dolce tra loro sistemate, le cui armature inferiori abbracciano un altro rocchetto cilindrico di Siemens, di maggiori dimensioni del precedente. Perciò anche in questo si provocano, col rapido suo moto rotatorio, correnti indotte, avviate tutte in un verso da altro commutatore. Così si hanno tre sistemi di correnti indotte, che s'ingenerano successivamente l'un l'altro, crescendo man mano d'intensità, sicchè ponno dare notevolissimi effetti termici: per esempio, arroventare e fondere una verghetta di ferro di mezzo centimetro di diametro e lunga due o tre decimetri. Ma questo elettromotore richiede un congegno che imprima una velocità di oltre mille giri al minuto ai predetti rocchetti (fig. 295).

Però tutte le correnti indotte superano di molto in tensione la corrente induttrice, ma sono ad essa proporzionatamente inferiori in quantità.

I predetti elettromotori di Ruhmkorff operano quali macchine che trasformano la forza rappresentata dalla corrente voltiana induttrice, aumentandone la tensione a scapito della quantità. *La scarica a forte tensione delle correnti indotte si produce in un tempo abbastanza lungo per rispetto a quello, estremamente breve, in cui compiesi una delle scariche elementari che si succedono quasi in modo continuo nel circuito degli elettromotori voltiani.*

§ 341. Vuolsi notare che, tanto per le correnti voltiane quanto per le correnti indotte, sono effetti correlativi alla quantità di una corrente la deviazione del galvanometro, l'azione elettrolitica, e l'azione termica in un filo resistente; e sono invece effetti correlativi alla tensione della corrente stessa la scintilla, la magnetizzazione dell'acciaio e la commozione negli animali.

§ 342. Le correnti d'induzione provocano altresì correnti indotte d'ordine superiore.

Una corrente d'induzione, provocata da una corrente voltiana, può ingenerare altra corrente indotta in un circuito metallico chiuso, e meglio in altra spirale, che stia dappresso alla prima: in allora l'una è detta *corrente indotta di 1.º ordine*, e l'altra corrente indotta di *2.º ordine*. Similmente una corrente indotta di *3.º ordine* può suscitare un'altra detta di *4.º ordine* in altra spirale, e così di seguito, come avvertì l'americano Henry (1841). Avvi però una differenza tra le correnti indotte di 1.º ordine e quelle di ordine superiore. In ogni corrente indotta si ponno distinguere due periodi, il primo di incremento e l'altro di decremento nell'intensità della corrente stessa; perciò essa provocherà per un circuito metallico chiuso due correnti indotte d'ordine superiore, una inversa nel periodo d'incremento e l'altra diretta in quello di decremento. Sono queste eguali in quantità, ma durano tempi diversi; talchè la prima, essendo più breve della

seconda, assume una tensione maggiore. Da qui l'anzidetta differenza: mentre nelle correnti indotte di primo ordine è più intensa la corrente diretta che l'inversa, in quelle di ordine superiore è più intensa l'inversa, corrispondente al periodo d'incremento nell'intensità della corrente induttrice.

Polarità magnetica di tutti i corpi.

§ 343. La condizione corrispondente alla polarità magnetica è ben più generale che dapprima non si pensasse. Ormai può dirsi che tutti i corpi sono qual più qual meno magnetici. Poiché: *in prossimità d'un forte polo magnetico tutti i corpi manifestano un'azione magnetica.*

Però alcuni corpi mostrano d'essere attratti dal polo stesso, ed altri invece accennano di essere respinti: i primi diconsi corpi *paramagnetici*, gli altri *diamagnetici*. Per codesta azione i corpi provano delle modificazioni nella loro forma molecolare.

I solidi a struttura uniforme, foggianti a verghetta prismatica o cilindrica, e sospesi in bilico con un filo di ben debole torsione fra mezzo ai poli d'una poderosa elettro-calamita, manifestano un'azione direttrice: poichè, o si dirigono secondo la retta congiungente i poli

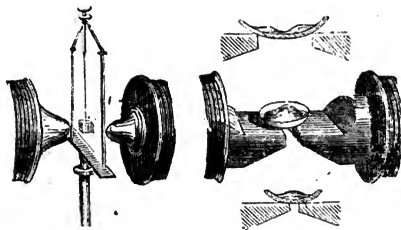


Fig. 296.

della magnete, detta *linea assiale*, oppure si dirigono secondo la perpendicolare al punto di mezzo di tal retta, denominata *linea equatoriale*. Nel primo caso si rileva una reciproca attrazione fra i poli della magnete e gli estremi della verghetta, o piuttosto di tutta la di lei sostanza; laddove nel secondo caso rilevasi una reciproca repulsione fra la verghetta ed i poli della elettro-calamita.

I liquidi posti su piccole capsule ed i gas entro bolle di sapone o di vetro sottile mostrano fenomeni analoghi di attrazione o di repulsione frammezzo ai poli d'una forte elettro-magnete.

Sono paramagnetici il ferro, il niccolo, il cobalto, il manganese, il cromo, il titanio, l'uranio, il lantanio ed il molibdeno, ed alcuni composti di ferro, di niccolo e di cobalto. L'ossigeno fra i gas, è fortemente paramagnetico, l'aria atmosferica e l'azoto lo sono in molto minor grado. Sono invece diamagnetici il bismuto, l'antimonio, il fosforo, il solfo, l'acido solforico, l'acqua la cera, gli olii d'ulive e di lino, l'alcole, l'etere, l'arsenico, il vetro, il cianogeno, il gas ammoniac e l'idrogeno.

La differenza tra queste due classi di corpi sembra aver relazione più che tutto con talune proprietà fisiche, cioè colla loro peculiare struttura molecolare. Così tra i corpi semplici i metalli paramagnetici offrono pesi molecolari, densità relative e quindi volumi molecolari tra loro poco diversi: inoltre hanno calorie di temperatura a volume assai rilevanti e pur poco diverse fra loro, e sono tutti di difficile fusione, di ragguardevole tenacità, ed abbastanza conduttori pel calore; mentre i solidi diamagnetici hanno piccoli valori così per le calorie di temperatura ad eguali volumi, come per le calorie di fusibilità, che è quanto dire hanno debole coerenza, ed offrono una debole conduttività termica ed elettrica: sono però sensibilmente diversi i loro equivalenti e le loro densità relative; il tutto come appare dal seguente specchietto.

	Peso molecolare	Densità relativa	Calorie di temper. a volume	fusibilità
Manganese	27,5	8,00	0,921	....
Ferro	28,0	7,75	0,882	1576
Niccolo	29,0	8,40	0,907	....
Cobalto	29,5	8,50	0,906	1527
Bismuto	106,4	9,82	0,303	164
Antimonio	120,6	6,70	0,340	240
Solfo	16,0	2,03	0,359	137
Fosforo	31,0	1,77	0,333	105

Vuolsi però avvertire che se i predetti solidi non offrono una struttura uniforme nel senso delle singole loro dimensioni, oppure se si trovano in mezzi ambienti diversi, si può facilmente essere tratti in errore, come osservarono Pluker, Tyndall e Matteucci, nel giudicare se un dato corpo sia piuttosto diamagnetico, ovvero paramagnetico; poichè talora i diamagnetici assumono la direzione assiale, ed i paramagnetici la equatoriale. Ad esempio, se un prisma vien segato trasversalmente in tante falde di poca grossezza, le quali poi sieno agglutinate o serrate assieme, così da ricomporre il prisma della fig. 297, questo si disporrà assialmente col lato di maggior lunghezza se è diamagnetico; e si disporrà collo stesso lato equatorialmente se è di sostanza non troppo fortemente paramagnetica. Laddove se il prisma

vien segato in tante falde nel senso della sua lunghezza, e poi si riuniscono come appare dalla fig. 298. esso si comporterà allo stesso modo che prima d'esser segato, cioè si metterà in linea assiale se paramagnetico ed equatoriale se diamagnetico. Il che significa esser

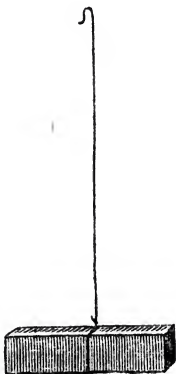


Fig. 297.



Fig. 298

in ogni caso efficaci, a dirigere il solido, le linee secondo le quali esso offre maggior densità, poichè queste risentono più energica l'azione induttrice dei poli magnetici.

Similmente accade pei corpi a struttura cristallina che, ritagliandone un prisma la cui lunghezza sia perpendicolare ai piani di più facile sfaldatura (*clivage*), questo si comporterà come il sovradetto della fig. 297; mentre se il prisma è tagliato in modo che il più lungo lato sia parallelo ai piani stessi di naturale giuntura, si comporterà a seconda che s'è detto per quello della fig. 298: ma in ogni caso, per tutti i corpi cristallini, le linee di maggior densità (che sono appunto parallele ai piani di sfaldatura) si disporranno in linea equatoriale se sono diamagnetici, ed in linea assiale se paramagnetici. Anco nei solidi a struttura uniforme, si possono provocare condizioni simili alle predette coll'esercitare su di essi, nel senso d'una sola loro dimensione, così forte pressione che faccia crescere sensibilmente in quel verso la densità.

Anche la diversa natura del fluido che circonda il corpo assoggettato all'azione dell'elettro-calamita può modificare ed invertire le apparenze dell'azione stessa. Così se entao un sottile tubo di vetro si chiude una soluzione di solfato ferrico, e la si sospende

per un sottil filo fra i poli dell'apparecchio sovraddetto, mentre per sè si dirigerebbe assialmente, perchè paramagnetico, apparirà diamagnetico, cioè si dirigerà in linea equatoriale, se quel tubetto nuoterà entro una soluzione dello stesso sale, ma più densa assai dell'altra; laddove assumerà indifferentemente qualsiasi direzione, se le due soluzioni saranno di egual densità; e si dirigerà ancora in linea assiale, ma meno energicamente che da sola, se la soluzione contiene un corpo diamagnetico ed il tubo nuota in altra soluzione di egual natura ma più densa. Pertanto anche in questi casi può dirsi essere determinanti della direzione assunta da un corpo le linee di maggior densità.

Che la costituzione chimica d'un corpo non abbia una definitiva influenza su quest'ordine di fenomeni, e più vi influisca la sua costituzione molecolare, può argomentarsi da ciò, che l'ossigeno, il quale tra i diversi gas ha più decisa virtù paramagnetica, unendosi coll'azoto in varie proporzioni, dà risultati tra loro assai diversi: il biossido d'azoto (Az^2O^2) è fortemente paramagnetico; l'acido azotoso (Az^2O^3) è paramagnetico in istato gasoso, e diamagnetico in istato liquido; l'ipoazotide (Az^2O^4) gasosa poco risente l'azione magnetica, mentre è fortemente diamagnetica in istato liquido; come lo è anche l'acido azotico (Az^2O^5). Il bismuto perde assai nella virtù diamagnetica col crescere della temperatura, e più colla fusione. È pur cosa rimarchevole essere i corpi per eccellenza combustibili che si mostrano più distintamente diamagnetici, quali sono il fosforo, il solfo, gli alcoli, gli eteri, gli olii grassi e volatili, la cera, la canfora, ed in genere i composti ricchi di carbonio, l'acido solforico, e l'acido cloridrico.

Laonde sembra potersi ritenere con Tyndall (1856) che *qualsiasi corpo*, conduttore od isolante, solido, liquido, o gasoso che esso sia, *si polarizza sotto l'influenza d'un polo o centro magnetico*. Se non che per alcune sostanze, le paramagnetiche, il centro magnetico e l'estremo più vicino del corpo influenzato corrispondono a due poli contrari, epperò s'attirano, come nell'ordinaria induzione magnetica; per altre sostanze, le diamagnetiche, il centro magnetico e l'estremo più vicino del corpo influenzato riescono invece due poli omonimi, e quindi si respingono mutuamente.

Ecco come procedette il Tyndall per questa importante dimostrazione, perfezionando un apparecchio usato da Weber. Due cilindri d'eguali dimensioni della sostanza da provarsi sono collegati tra loro per mezzo di una funicella che passa per la gola di una puleggia; cosicchè mentre l'uno si alza l'altro s'abbassa, e reciprocamente però la loro corsa è limitata, restando essi nell'interno di due tubi di ottone fissati verticalmente coi loro assi corrispondenti ai due tratti

della funicella; su questi tubi stanno avvolte due eliche di rame a spire isolate, per modo che una stessa corrente passi per esse, pro-

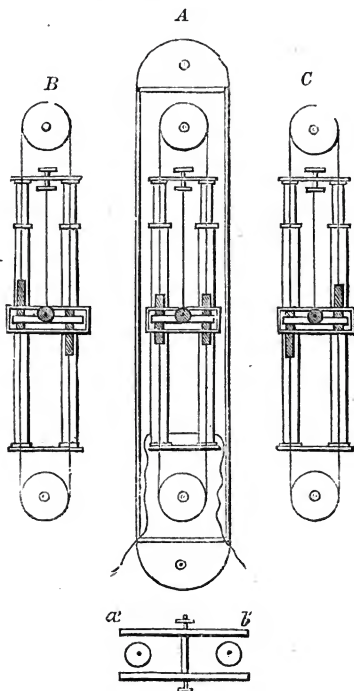


Fig. 299.

cedendo nell'una in verso contrario che nell'altra, tanto che le estremità superiori delle eliche per la polarizzazione voltaica corrisponderanno a due poli contrari, e così anco le loro estremità inferiori. Un sistema astatico, formato con due calamite rette di egual forza e coi poli volti in opposto verso, è sostenuto in bilico da un fascetto di fili di seta che gli permettono un facile moto di rotazione, mentre le calamite coi loro poli comprendono fra mezzo le dette due eliche, e trovansi col loro piano orizzontale alla metà dell' altezza di queste, di maniera che quand'anco le eliche si polarizzino col pas-

saggio della corrente il sistema astatico non si muoverà, elidendosi per ciascun magnete le opposte ed eguali azioni attrattive o repulsive esercitate dai due poli di ciascun'elica su di essa. A codesto sistema è connesso uno specchietto, per la riflessione del quale scorrendo con un cannocchiale le divisioni tracciate su di una scala orizzontale posta in distanza si ponno rilevare le deviazioni anco piccole di magneti.

Ora se i due cilindri si troveranno coi punti di mezzo della loro lunghezza nel piano orizzontale rispondente insieme alla metà altezza delle eliche ed al piano di rotazione del sistema astatico, come nella posizione *A*, sebbene i cilindri si polarizzino col passare della corrente per le eliche, i magneti non devieranno ancora, elidendosi per ciascun polo di questi le eguali ed opposte azioni dei loro due poli, da che nell'uno la polarizzazione sarà in verso contrario a quella dell'altro. Ma se invece ai due cilindri si darà la posizione *B* oppure la *C*, cosicchè alle estremità del sistema operino il polo superiore dell'uno ed il polo inferiore dell'altro cilindro, i quali saranno di egual natura, il sistema stesso devierà. Laonde, essendo noto il senso di polarizzazione promosso dalla corrente nelle eliche, sarà dato rilevare dal verso della deviazione de' magneti se la polarità dei cilindri sia concorde, oppure in opposizione a quella delle eliche.

Ora, se i cilindri sono di sostanza paramagnetica, la deviazione è tale da provare essersi i medesimi polarizzati, come è noto prodursi per una verga di ferro entro un'elica voltaica, in senso concorde delle corrispondenti eliche: laddove, se sono di sostanza diamagnetica, si polarizzano in senso opposto. E si noti che nell'un caso e nell'altro codesta polarizzazione mostrasi *permanente* nei cilindri finchè dura la corrente nelle eliche, giacchè permanente riesce la deviazione del sistema astatico, e che perciò questa deviazione non può in niun modo attribuirsi a correnti indotte dalle eliche nei cilindri, le quali potrebbero prodursi ed operare, solo momentaneamente, al chiudere od all'aprire del circuito.

Faraday (1845), e poscia Biot e Becquerel provarono che sotto l'azione di potente magnete temporaria, le sostanze solide e liquide subiscono tali modificazioni nella struttura, cioè nella posizione relativa delle loro molecole, che, se sono trasparenti ed attraversate da un fascio di luce polarizzata, questo vien modificato nel suo andamento.

L'asse longitudinale dell'apparecchio di Faraday sia rettilineo e traforato, si da potervi far passare un fascio di luce, e si applichi a ciascun suo estremo un prisma polarizzatore di Nicol, l'uno dei quali sia fisso e l'altro suscettibile di ruotare, girando una lamina graduata; cosicchè ove questi sieno diretti in modo che le loro sezioni principali riescano tra loro perpendicolari, ogni luce apparirà

estinta, traguardandola pel foro longitudinale, poichè la luce polarizzata emergente dal primo prisma non può emergere dal secondo. Se in tal disposizione si colloca frammezzo ai due poli un prisma di vetro pesante (boro-silicato di piombo) o d'altro corpo diafano, all'atto in cui si chiuderà il circuito voltiano coll'elica dell'apparec-

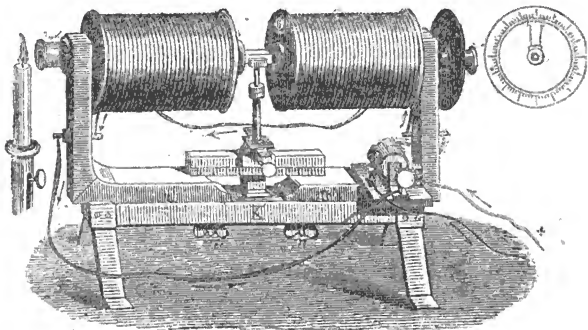


Fig. 300.

chio si manifesterà una luce colorata, la quale cesserà col riaprire il circuito. Che se questo è lasciato chiuso, come dianzi, potrà pure gradatamente esser estinta, col girare la lamina graduata per un dato verso e d'un dato numero di gradi. Però se s'inverte la direzione della corrente, col commutatore, onde avere la estinzione della luce, converrà girare la lamina nell'opposto verso del precedente, e d'un egual numero di gradi rispetto alla posizione primitiva, se immutata è la intensità della corrente. Convien dunque dire che l'elettro-calamita eserciti una modificazione nella struttura di quel corpo diafano, da farvi mutare la direzione del piano di polarizzazione della luce, in modo analogo a quello che potrebbesi ottenere colla forte pressione meccanica esercitata sulla stessa sostanza diafana. Analoghe modificazioni si riscontrano coi liquidi trasparenti collocati similmente framezzo ai poli entro opportune vaschette.

Ma è da avvertire che alcune sostanze offrono la rotazione del loro piano in un senso concorde a quello della corrente nella elica, tal'altre in senso contrario: nel primo caso si dice che la rotazione è positiva, nel secondo negativa. Le sostanze trasparenti che non contengono alcun metallo paramagnetico offrono sempre la rotazione positiva. Se invece esse contengono ferro, cromo, titanio, cerio, ūra-

nio e lantanio (che pur sono metalli debolmente paramagnetici), la rotazione è negativa; ed è positiva se contengono altri metalli paramagnetici, quali sono niccolo, cobalto, molibdeno e manganese.

Laonde ancor per questa via si conferma che tutti i corpi risentano un'azione dalle forti calamite, e che questa azione implica in essi una mutazione nella loro intima struttura, in corrispondenza al polarizzarsi delle loro molecole.

Fenomeni termo-elettrici.

§ 344. Importa rammentare come ne'paragrafi precedenti siasi veduto: *a)* le azioni meccaniche di strofinio ed altre provocare correnti elettriche; *b)* ottenersi pure correnti elettriche mercè le azioni chimiche; *c)* le correnti elettriche provocare, alla lor volta, azioni chimiche, elettriche e meccaniche.

Ora dobbiam aggiungere che pur mercè talune azioni termiche si ponno avere correnti elettriche.

Quando il calore si propaga in un solido a struttura non uniforme, o fra parti discontinue di un medesimo solido, e più ancora quando esso si trasmette da uno ad altro solido eterogeneo. può dar luogo, in un circuito conduttore, ad una corrente elettrica. Le correnti così provocate dal calore diconsi *correnti termo-elettriche*.

Un filo metallico, che, per qualsiasi modo, abbia una parte più incrudita delle restanti, scaldato in prossimità di tal parte, ove la struttura molecolare offre una differenza, dà luogo ad una corrente elettrica, riconoscibile col galvanometro a filo corto. Con alcuni metalli tale corrente procede dalla parte meno incrudita alla parte più incrudita del filo, come avviene coll'ottone, l'argento, l'acciaio, il cadmio, il rame ed il platino; mentre collo zinco, lo stagno ed il ferro la corrente procede in contrario verso. Anche ponendo a contatto due porzioni disgiunte d'uno stesso filo metallico, una delle quali sia stata preventivamente scaldata, si produce una corrente elettrica, la quale procede dalla parte calda alla fredda, nel maggior numero dei casi.

Più distinte però sono le correnti che si provocano con due verghe metalliche eterogenee, saldate o congiunte assieme, collo scaldarle presso la giuntura (*a*). Nella serie seguente: pirite di rame,

(*a*) Questi fenomeni vennero primamente studiati da Seebeck (1821), poscia da Yelin, da Sturgeon e da Becquerel (1823), e di poi da altri molti. Però Volta aveva già notato che una lamina d'argento, i cui estremi abbiano differente temperatura, costituisce una coppia elettromotrice.

bismuto, niccolo, platino, cobalto, manganese, argento, stagno, piombo, ottone, rame, oro, zinco, ferro, antimonio, un dato metallo assume la tensione negativa rispetto ai successivi e la tensione positiva ri-

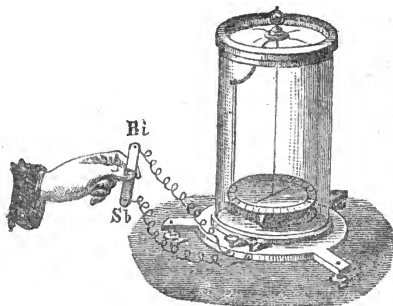


Fig. 301.

spetto ai precedenti, scaldando la loro giuntura: poichè nell'interno dell'elettromotore la corrente procede dal metallo antecedente al susseguente. E ciò come meglio appare dalla serie:

+ Bi, Ni, Pt, Cu, Mu, Ag, Sn, Pb, Cu, Au, Sb —

Più coppie bimetalliche, unite in serie, le cui giunture siano alternativamente l'una calda e l'altra fredda, formano una *pila termoelettrica*. Ed in questa la forza elettromotrice è tanto maggiore quanto

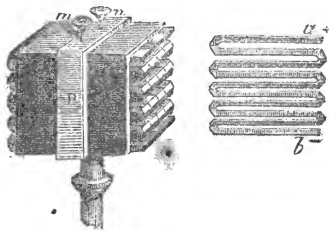


Fig. 302.

più discosti si trovano nella serie precedente i due metalli che la costituiscono; e, per dati metalli, cresce colla differenza di tempe-

ratura delle giunture. La differenza nelle tensioni dei due poli è proporzionale al numero delle coppie; invece la quantità della corrente è in rapporto colla estensione delle superficie di contatto dei metalli eterogenei (fig. 302).

Una di codeste pile, formata di molte ma sottili coppie, i poli della quale sian congiunti con un galvanometro a filo grosso, costituisce, siccome immaginò Nobili, un *termo-moltiplicatore*, cioè un termoscopio assai più sensibile degli ordinari termometri. Fu adoperato, con molto vantaggio della scienza, da Melloni per istudiare i fenomeni del calore radiante, e da Becquerel per riscontrare le temperature dei corpi organizzati.

I metalli aventi una struttura cristallina, come il bismuto e l'antimonio, ancor quando formano un circuito continuo, qual sarebbe un anello od un rettangolo ottenuti colla fusione, ponno produrre una corrente elettrica, scaldandoli in prossimità di certe sezioni, che Seebeck disse punti neutri, e che Matteucci riscontrò corrispondere ad una cristallizzazione confusa o meno regolare che nel resto del circuito. Analogamente osservò Svanberg (1850) che la corrente procede in modo inverso, mettendo a contatto due lamine omogenee dell'uno e dell'altro dei detti metalli, secondo che esse sono tagliate parallelamente oppur perpendicolarmente al piano di clivaggio. Al qual proposito, opina lo stesso Matteucci, che in questi fenomeni, come in quelli del diamagnetismo, il piano di sfaldatura influisca solo in quanto che la densità del cristallo è maggiore nella direzione ad esso parallela che nella direzione perpendicolare (pag. 642). Ed in vero, mercè la compressione, egli giunse a determinare nel bismuto proprietà termo-elettriche simili a quelle ch'esso acquista colla cristallizzazione.

§ 345. Analoghi a questi sono i fenomeni elettrici che presentano alcune pietre cristalline. Sino dal 1759 Epino riconobbe che le tormaline acquistano la polarità elettrica, col variarne la temperatura sia in aumento, sia in decremento, e che allora, spezzandole, ogni frammento presenta la polarità, colle tensioni contrarie nelle due superficie di una stessa frattura. Però in un dato cristallo la disposizione dei due poli, ossia delle due contrarie tensioni, riesce inversa secondo che queste sono provocate da incremento o da diminuzione di temperatura. Anzi la polarità scompare nell'atto che la temperatura cessa di crescere e sta per scemare, siccome osservò Becquerel (1828), ed è pure allo stato neutro la regione mediana di una tormalina polarizzata ed isolata. Gaugain (1856), disponendo in batteria di quantità 15 tormaline, coi poli omonimi riuniti, poté caricare un piccol quadro francliniano, si d'averne distinte scintille. Egli provò altresì che la quantità totale d'elettricità svolta da una tor-

malina, che si raffredda fra due dati limiti di temperatura, è costante, ed indipendente dalla velocità di raffreddamento; e codesta quantità totale eguaglia quella svolta col riscaldarlo fra gli stessi limiti di temperatura.

Altre sostanze cristalline si elettrizzano col riscaldamento (onde si dicono *cristalli piro-elettrici*), quali sono il topazio, lo zinco ossidato, la boracite, la frenite, il mesotipo, lo sfeno e l'axinite. In quasi tutti questi cristalli v'è un solo asse elettrico, il quale non coincide sempre coll'asse cristallino: però l'axinite offre due distinti assi elettrici, e la boracite oltre a quattro assi elettrici corrispondenti ai quattro assi del cristallo, ne presenta altri tre corrispondenti ai centri delle facce. Haüy notò che gli anzidetti cristalli piro-elettrici sono tra quelli che non seguono la legge di simmetria (§ 128), poichè le parti opposte sono dissimili, e che l'estremo avente un maggior numero di faccette riesce in tensione positiva col raffreddamento.

I fenomeni accennati in questa proposizione appoggiano il principio suesposto (§ 326): *esistere, cioè, un'intima relazione tra l'elettricità ed il calore; giacchè questi due modi di forze si ponno provocare o trasformare a vicenda, ora l'uno essendo effetto dell'altro ed ora causa.*

Sembra che anco l'elettricità promossa da strofinio possa attribuirsi ad una trasformazione del calore, da che lo strofinio fra superficie chimicamente e fisicamente omogenee provoca soltanto calore: laddove, se le superficie sono pur solo fisicamente diverse (propos. 1.^a) si produce anche elettricità, e più facilmente è questa prodotta se s'aggiunge l'eterogeneità chimica; e codesta elettricità sembra manifestarsi in questi casi a detrimento del calore promosso dallo stesso strofinio.

Una vibrazione sonora suscitata in un circuito a giuntura bimetallica, come pure uno sfregamento nel luogo di giuntura, valgono al pari del calore a determinare una corrente elettrica (a).

Due lamine metalliche eterogenee comunicanti con un galvanometro a filo corto danno una sensibile corrente, sfregandole fra loro leggermente. Due pezzi di carbone da ritorte, immersi nel mercurio e comunicanti con un filo galvanometrico, offrono una corrente, se l'uno di essi vien mosso entro il liquido, restando l'altro fermo. Un cristallo di spato islandico si elettrizza colla sola pressione. E si elettrizzano pure, premendoli tra loro, due corpi eterogenei, o due

(a) Becquerel osserva che codesta facoltà termo-elettrica dei metalli eterogenei sembra avere relazione colla differenza del loro calore specifico, e forse anco della loro conduttività termica.

corpi omogenei aventi una diversa temperatura. In tutti questi casi tanto può dirsi che l'elettricità è prodotta dal movimento, quanto che dal calore.

Correnti elettro-organiche.

§ 346. *Per un'azione organico-chimica i muscoli ed i nervi degli animali spiegano una loro propria facoltà elettromotrice*, e ponno quindi, in date condizioni, far luogo a correnti elettriche.

Nobili (1827) e di poi Matteucci (1841), ripigliando in esame i fenomeni osservati primamente dal Valli (pag. 582) nelle rane, dimostrarono che una coscia coll'annesso nervo dà luogo ad una *corrente propria*, la quale si manifesta al galvanometro, pur avendo riguardo di ovviare agli effetti della polarizzazione degli elettrodi (§ 317) (a). E questa corrente, nella coscia stessa, appare ascendendo dalle parti inferiori alle superiori dell'arto, cioè in senso contrario alle ramificazioni del nervo; e quindi nell'arco conduttore esterno appare procedere dal nervo al muscolo, appunto come Galvani aveva supposto.

Matteucci dimostrò in seguito che ogni muscolo, costituisce un distinto sistema elettromotore, anche indipendentemente dai fletti nervosi: ed in tal caso un arco conduttore omogeneo, applicato fra l'estremo tendinoso e l'esterna superficie del muscolo è percorso da una corrente diretta dalla superficie stessa al tendine, e quindi nel muscolo codesta corrente procede dal suo interno all'esterno. E, disponendo in serie più muscoli, per modo che l'interno dell'uno tocchi l'esterno del successivo, ottiensì una corrente la quale cresce in intensità col numero dei muscoli formanti codesto elettromotore animale, e procede in esso dallo interno allo esterno dei muscoli stessi. Però per ciascun muscolo la forza elettromotrice è proporzionale alla lunghezza, ed indipendente dalla sua sezione trasversale.

Dubois-Reymond (1843) usando galvanometri col filo a gran numero di giri, ed opportuni cuscinetti umidi per posarvi sopra i pezzi organizzati degli animali, onde attenuare le azioni dissolventi dei liquidi, s'adoprò con molto ingegno per dimostrare che: *tanto la fibra muscolare, quanto i fascetti nervosi, sono, nel loro stato normale, in ogni parte attraversati da correnti elettriche proprie, dirette dalle loro sezioni trasversali alle sezioni longitudinali*; sicchè queste sono positive e quelle negative rispetto all'arco del galvanometro, e nelle sezioni trasversali dei muscoli la corrente pro-

(a) A tale intento, invece degli elettrodi di platino immersi in soluzione di sal comune, giova adoperare elettrodi di zinco amalgamato, immersi in una soluzione pura e neutra di solfato zincico, presa al suo massimo di conduttività, siccome usarono Matteucci e Regnault.

cede dalle parti centrali alle periferiche. Però, a suo credere, la corrente derivata col filo galvanometrico corrisponderebbe ad una porzione ben piccola della elettricità circolante fra le parti interne ed esterne di dette fibre muscolari o dei detti fasci nervosi (a).

Codeste correnti elettriche si riscontrano anche negli animali viventi: anzi, in tal caso, sono più intense. Matteucci riassume così molti studii da lui fatti su tal proposito. La forza elettromotrice di un muscolo, preso sull'animale vivo od appena ucciso, è maggiore nei mammiferi e negli uccelli che nol sia nei pesci e nei batraci. Però codesta forza, la quale rapidamente diminuisce ne' primi istanti successivi alla morte, perdura di più nei muscoli degli animali a sangue freddo che in quelli ad attiva respirazione polmonare. Il nervo non esercita alcuna diretta influenza su la forza elettromotrice del corrispondente muscolo; anzi il nervo, con la sua scarsa conduttività, diminuisce l'intensità della corrente muscolare. E tutti gli agenti, fisici e chimici, che modificano la contrattilità muscolare, modificano similmente la forza elettromotrice del muscolo.

Matteucci è perciò d'avviso, e ci sembra a ragione, *essere la corrente muscolare promossa dalle azioni chimiche corrispondente sia alla nutrizione del tessuto fibroso, sia all'atto respiratorio e termostogenico compientesi nel tessuto stesso.*

Adoperando un galvanometro a 27 mila giri, siccome fece lo stesso Dubois-Reymond e tenendo immerse le mani in due tazze separate, comunicanti coi due capi del filo galvanometrico, se si contrae rapidamente un braccio, mentre l'altro sta in riposo, si manifesta una corrente, la quale, nel braccio contratto, appar procedere dalla mano alla spalla, ed avrebbe origine, com'egli cercò di provare, da una diminuzione nelle correnti proprie del braccio contratto, mentre restano invariate quelle del braccio in riposo: epperò la corrente muscolare propria o naturale delle braccia procederebbe dalla spalla verso la mano (b).

(a) Ci asteniamo dall'espore qui le idee teoriche del Dubois-Reymond su le condizioni fisiche di coteste correnti date dei nervi, perchè ci sembrano troppo complesse e poco consenzienti coi principi elettrologici più accertati. E similmente non parliamo dei fenomeni detti dell'*elettrotono*, perchè più presto spettanti alla fisiologia, e perchè ancor troppo controversi. Veggasi anche una mia nota all'Istituto Lombardo (1869) su questo argomento.

(b) Matteucci, senza contestare il risultato della suesposta esperienza, ne porge però quest'altra spiegazione, ch'egli appoggia ad alcune esperienze da lui fatte circa gli effetti delle contrazioni su la corrente propria de' muscoli nelle rane. Ammette cioè, che nell'atto in cui il muscolo si contrae, venga percorso da una scarica elettrica, diretta in verso contrario alla corrente propria che in esso muscolo mantiensì quand'è in istato di riposo. E di vero, nell'atto della con-

Helmholtz riesci a determinare la velocità colla quale l'eccitamento elettrico si propaga lunghe i nervi. Trovò che essa varia da uno ad altro animale: per es. pei nervi della rana codesta velocità è per medio di 24 metri al minuto secondo, mentre per quelli dell'uomo è di 60 metri. Varia altresì pei nervi di uno stesso animale colle condizioni del medesimo: così il freddo fa diminuire la velocità di trasmissione delle correnti elettriche per qualsiasi nervo.

Che poi l'organismo animale si presti alla trasformazione delle correnti elettriche di quantità in iscariche di tensione, ne danno chiara prova i così detti pesci elettrici, e specialmente la torpedine ed il ginnoto. In essi sonvi organi appositi (che hanno forma di prismi, contenenti un liquido albuminoso intramezzato da molti sottili diaframmi, e circondati da materia coibente), ne quali sembra che le correnti promosse dalle contrazioni volontarie dell'animale vi acquistino sì forte tensione, da produrre all'esterno scintille elettriche e forti commozioni negli animali.

E poichè una corrente elettrica è l'unico stimolo fisico il quale, essendo applicato direttamente ad un muscolo senza l'intermezzo dei filetti nervosi, valga a determinare la contrazione, si ha qualche fondamento per credere che le contrazioni volontarie e le sensazioni negli animali viventi siano collegate con una modificazione nelle correnti proprie del sistema nervoso.

Dobbiamo però avvertire che recentemente queste correnti elettro-organiche furono poste in dubbio di bel nuovo, od almeno interpretate con ben diversa significazione. Cominciò Hermann a mostrare che un muscolo, quando sia in istato normale e quando non si contragga, non offre alcuna corrente propria. Poco dopo (1870) Schiff intese a provare che la corrente data da un nervo fra una sua sezione trasversale e la superficie esterna sia dovuta all'alterazione prodotta nel suo tessuto dallo stesso taglio, che vi suscita un processo morboso: epperò codesta corrente cessa col cessare di questo processo, cioè col cicatrizzarsi del taglio, laddove il nervo normale non leso, non irritato, e bene isolato, non dà indizio di corrente al più sensibile galvanometro.

Se così fosse, le sperienze di Valli, di Nobili, di Matteucci e di Dubois-Reymond sovra accennate ricevrebbero un'interpretazione diversa. Ed invero, sebbene gli atti chimico-organici di nutrizione della fibra muscolare e del filetto nervoso possano far luogo ad una corrente elettrica, questa non può manifestarsi lorchè gli atti stessi

trazione, aumentando l'intensità della respirazione muscolare e variando d'assai la forma e disposizione delle fibre muscolari, non è improbabile che si verifichi un'inversione nell'andamento della corrente, segnatamente nell'arco esterno.

non vengano in alcun modo perturbati, cioè quando questi tessuti non siano nè tagliati nè stimolati da agenti esterni. Così accade anche per una calamita, che non può promuovere un'esterna corrente se non è percossa, attorta, smossa o modificata in un modo qualsiasi. A proposito poi della eccitabilità dei nervi, convien ricordare quanto aveva già avvertito il Volta, che cioè i nervi lombari della rana hanno così squisita sensibilità per scariche elettriche da superare quella del più squisito elettroscopio a fogliette d'oro. Un arto di rana, appena preparato si contrae distintamente o si commove, facendo comunicare il nervo coll'armatura interna ed il muscolo coll'esterna di una piccolissima boccia di Leida la quale sia stata per bene scaricata dei residui, mantenendo a lungo la comunicazione tra le armature, cosicchè non dia più segno al predetto elettroscopio. Lo stesso vale per le correnti voltiane. Una piccolissima coppia rame-zinco, leggermente umettata con acqua distillata, dà una corrente già per sé molto debole, ma essa vien sviscerata grandemente introducendo nel circuito un *reostato a liquido* di grandissima resistenza, talchè non dà più sensibile deviazione ad uno squisito galvanometro: eppure essa varrà tuttavia a far commuovere un arto di rana ben preparato e non lasciato disseccare disponendolo sotto campanina le cui pareti sono bagnate.

CAPO XI.

· O T T I C A ·

§ 347. Per mezzo dell'organo della vista, come col tatto e col l'orecchio, noi acquistiamo conoscenza del mondo esterno.

Ma, affinchè si compia la visione, abbiamo bisogno della presenza della *luce*. La luce adunque si può riguardare come una particolare condizione di cose, per mezzo della quale gli oggetti si rendono sensibili all'occhio.

La parte della fisica che tratta della luce si chiama *ottica*.

I corpi che sono visibili per loro medesimi e che a noi appariscono fonti immediate di luce si dicono *luminosi*; gli altri si dicono *oscuri*. Un corpo oscuro quando è visibile, e lo è sempre per l'intervento di un corpo luminoso, dicesi *illuminato*. I corpi oscuri si distinguono in *opachi*, attraverso de' quali non si vede punto, e in *trasparenti*, attraverso dei quali si vede. I trasparenti poi si appellano *diafani* se attraverso di essi vedonsi gli oggetti distintamente, *translucidi* se gli oggetti non si distinguono.

Sono fonti o motori di luce: il sole, le stelle, le scariche elettriche, la fiamma, ecc. Ogni corpo oscuro diventa luminoso quando la sua temperatura vien elevata a un certo grado.

Che cosa sia la luce in sè non importa il dichiarare qui di subito. Convien prima far qualche analisi de' principali fenomeni ottici, onde riconoscere le condizioni precipue alle quali soddisfar deve la luce, considerata qual mezzo che pone gli oggetti luminosi od illuminati in relazione coll'organo della vista. Basterà, per ora, supporre che la percezione visiva di un oggetto si compia in un modo analogo a quello con cui si effettua la percezione uditiva di un suono. Là si diceva il suono non essere altro che una serie di vibrazioni, e che perciò onde percepirlo richiedevasi un corpo elastico vibrante (il corpo sonoro) ed un mezzo elastico (l'aria), suscettivo di trasmettere le vibrazioni sonore di quel corpo sino alla membrana del timpano (§ 116); qui può credersi che occorra pure un mezzo elastico (l'etere),

atto a trasmettere sino all'interno dell'occhio le vibrazioni luminose dell'oggetto veduto.

Intanto, analogamente a ciò che si dice per i raggi sonori (congiungenti un punto del corpo sonoro con un punto della membrana del timpano od altro oggetto da quello scosso), denomineremo *raggio di luce* ogni retta congiungente un punto luminoso od illuminato con un punto della pupilla dell'occhio nostro o d'altro oggetto illuminato da quello. Però, anche indipendentemente da ogni concetto teorico sulla natura della luce, un raggio luminoso risponde puramente ad una *linea d'azione* reciproca tra un punto luminoso ed un punto qualsiasi d'un oggetto ad esso esterno.

Inoltre vuolsi avvertire che nella luce d'ordinario si riconoscono, commiste colle *radiazioni luminose*, alcune *radiazioni termiche* o calorifiche, delle quali ci riserbiamo di discorrere in seguito.

Propagazione della luce.

§ 348. In uno spazio oscuro accendendo un lume, questo riesce visibile per sé stesso da tutt'all'intorno e diventano visibili per la sua presenza anche corpi circostanti. Dunque la luce si *propaga* nello spazio per ogni verso all'ingiro del corpo luminoso. Spegnendo quel lume, lo spazio in un subito ritorna oscuro; quindi finchè dura la visione, la luce continuar deve a propagarsi nello spazio dal corpo luminoso.

Per conoscere le leggi di questo moto di propagazione, bisogna ricercarne la direzione e la velocità; ma conviene distinguere se il mezzo in cui la luce si propaga sia omogeneo od eterogeneo. Dicesi *omogeneo* quel corpo che ha la stessa costituzione fisica in ciascun punto della sua massa. Un mezzo omogeneo chiamasi poi *isotropo* se è egualmente costituito in tutte le direzioni (aria, acqua, vetro di uniforme densità); e dicesi *anisotropo* quando presenta proprietà differenti secondo direzioni diverse, come sono in generale i cristalli.

Quando la luce si propaga in un mezzo omogeneo, allora la sua propagazione dal corpo luminoso è da noi giudicata succedere in linea retta. Se tra l'occhio ed un oggetto visibile si pone un corpo opaco, il quale tagli le rette che si possono condurre dall'uno all'altro, l'oggetto più non si vede. La luce solare che entra in una camera oscura per un piccolo foro tiene un cammino dritto, che è segnato all'occhio dal pulviscolo nuotante nell'aria.

Poichè da un punto luminoso i raggi di luce si dipartono tutto all'ingiro, divergendo come dal centro d'una superficie sferica, anche in un gruppo di raggi vicinissimi tra loro, che dicesi *fascio di luce*,

saranno questi tra loro divergenti. Tuttavia, quando il punto luminoso sia lontanissimo, i singoli raggi d'un fascetto luminoso potranno guardarsi come paralleli tra loro.

La propagazione della luce per linee rette e per ogni verso all'ingiro della fonte luminosa serve a spiegare parecchi fenomeni.

§ 349. Vi siano due corpi, uno luminoso e l'altro opaco. I raggi che dal luminoso cadon sull'opaco non passano oltre, dunque vi dev'essere dietro di questo uno spazio affatto privo di luce; tale spazio buio si dice *ombra* del corpo opaco. La grandezza, la forma e la disposizione dell'ombra dipendono dalla grandezza e dalla forma dei due corpi, non che dalla distanza e dalla posizione mutua di essi.

L'ombra non è circondata immediatamente dallo spazio in tutta luce, ma, per l'estensione del corpo luminoso, è sempre cinta d'uno spazio in cui l'oscurità va digradando verso la piena luce. Tale spazio si dice *penombra*.

In certi casi il metodo di trovare le ombre riesce molto semplice. I due corpi siano, per esempio, due sfere (SL ed MN). Si guidi una retta indefinita (AG), tangente i due corpi (in S ed M), che incontri in un punto (A) il prolungamento della retta che unisce i loro centri, e si immagini che, senza lasciare questo punto d'incontro, essa

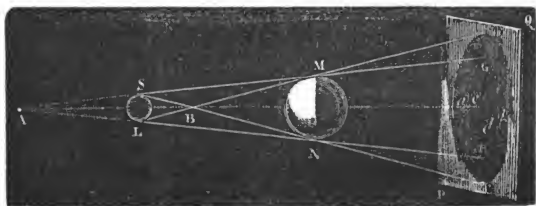


Fig. 303.

giri intorno alle due sfere, serbandosi di continuo tangente ad ambedue. La superficie conica così generata determina al di là del corpo opaco il contorno dell'ombra (MGHN). Si guidi un'altra retta (LMD) tangente i due corpi, ma situata in guisa che l'uno sia da una parte di essa e l'altro dall'altra, e che essa incontri pure la retta dei centri. Tale incontro sarà un punto (B) fra le due sfere. Si immagini che la retta si mova girando intorno ad ambedue le sfere senza cessar di toccarle e senza lasciare codesto punto d'incontro. Ecco generata un'altra superficie conica. Lo spazio esteriore a questa superficie è in piena luce, lo spazio compreso fra le due superficie coniche (MDNC ed MGNH) è la penombra. In un piano (PQ)

perpendicolare alla retta dei centri (Ac) la proiezione dell'ombra si dipinge come un circolo oscuro (HG) e quella della penombra come un anello (ab) all'ingiro.

Quando, pei moti relativi della nostra terra e della luna, accade che la terra s'immerge nell'ombra della luna, si ha l'*eclisse*, che diciamo *di sole*. Se passiamo nell'ombra, tutto il sole è oscurato ed allora si ha l'*eclisse totale*; se passiamo nella penombra, ci è impedita la vista di una parte sola del disco solare, e in tal caso l'*eclisse* chiamasi *parziale*.

Quando la luna entra nell'ombra o solo nella penombra della terra, dove o non riceve affatto o riceve luce da una parte sola del disco solare, si ha l'*eclisse* (totale o parziale) *di luna*.

In una camera chiusa in cui entri per un piccol foro la luce, non però i raggi diretti del sole, si vedono sulle pareti le immagini a rovescio degli oggetti esterni. Questi, essendo illuminati, mandano raggi da tutta la superficie; da ogni punto dell'oggetto si diparte un fascetto conico di raggi che, entrando nella camera, dà sulla parete un'immagine del foro. Il complesso delle immagini corrispondenti a tutti i punti degli oggetti deve dunque formare come un quadro di essi, tanto più bello e distinto ne' suoi particolari, quanto più i singoli fascetti riescono dischiusi l'uno dall'altro, cioè quanto più pic-

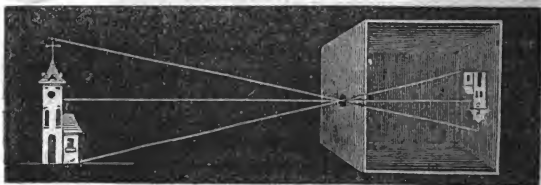


Fig. 304.

colo è il foro e più lontano il quadro. Questo poi è rovescio, perchè i fascetti procedendo rettilinei, si sono incrociati nell'apertura.

Similmente i raggi solari, che attraversarono un piccolo spazio libero confinato dagli orli di uno o più corpi opachi, vengono a formare un fascetto la cui sezione normalmente alla direzione dei raggi stessi a qualche distanza da quel pertugio è sempre sensibilmente circolare, dando un'immagine del disco del sole, qualunque sia la figura del pertugio. Così nell'ombra di piante alte e frondose vediamo che i raggi passanti per gli intervalli svariati delle foglie dipingono sul suolo immagini che sono circoli, od elissi più o meno allungate, secondochè è diversa l'inclinazione della superficie che le riceve.

Poichè il contorno di queste immagini, a qualche distanza dal foro, riesce sempre simile al contorno del corpo luminoso, qualunque sia la figura del pertugio. Infatti nel tempo degli eclissi di sole tutte codeste immagini, e nelle ombre delle piante, e nelle camere, dove siano brevi spiragli di luce, prendono la figura di falce o di anello, conforme alla parte del disco solare che rimane scoperta. La luna dà sempre figure simili alla sua fase.

Velocità della luce.

§ 350. La velocità della luce è così grande, che non la si poteva ritrovare immediatamente con la osservazione dei fenomeni luminosi terrestri, non essendovi sensibile intervallo tra l'istante in che si produce un fenomeno luminoso e quello in che l'occhio lo coglie, per quanto sia grande lo spazio di terreno che sta di mezzo. Perciò le esperienze fatte dagli Accademici del Cimento sulla lunghezza di due miglia, in un modo suggerito da Galileo, tornarono vane.

Un fenomeno astronomico suggerì all'astronomo danese Roemer nel 1675 un mezzo per determinare la velocità della luce. Intorno al pianeta Giove (J) circolano rapidamente quattro satelliti; l'orbita (GIEH) del primo satellite attraversa l'ombra di Giove illuminato

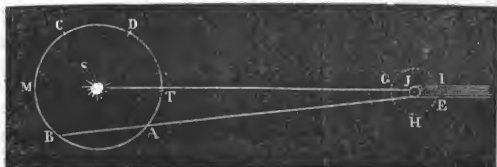


Fig. 305.

dal sole (S); però il satellite a un punto del suo cammino si eclissa e scompare immergendosi nell'ombra (in I), e poi ricompare emergendone (in E). L'intervallo di tempo tra due immersioni o tra due emersioni successive è la durata di una rivoluzione del satellite intorno al suo pianeta ($42^h. 28'. 35''$). L'orbita (ABMCDTA) che la nostra terra corre in un anno è così disposta, che da un certo tratto (AB) di essa riescono visibili le emersioni del primo satellite di Giove dall'ombra, cioè i termini degli eclissi, e da un altro tratto (DC) riescono visibili le immersioni, cioè i principii degli eclissi. Da un punto (A) del primo tratto si osservi una emersione e se ne noti l'istante. La 100.^{ma} emersione seguente ci apparirà un po' dopo 100

volte $42^h.28'.35''$. Poichè la terra non sarà più in quel punto (A) dell'orbita nel quale si fece la prima osservazione, ma proseguendo il suo cammino, intanto che il satellite faceva le 100 rivoluzioni, è venuta a un punto (B) più distante che non il primo dal sistema di Giove, e la luce, che dal satellite emergente dall'ombra ci annunzia il termine dell'eclisse, deve fare un viaggio più lungo per giungere al nostro occhio. Il ritardo corrisponde al tempo che la luce impiega a propagarsi lungo lo spazio (AB) uguale alla differenza delle due distanze; talchè, dividendo questo spazio per quel tempo, si ottiene la velocità di propagazione della luce, che risulta di circa 311 mila chilometri per minuto secondo. Analogamente, quando la terra è nell'altro tratto dell'orbita da cui si scorgono le immersioni od i principii degli eclissi, si rileva un'anticipazione nelle successive immersioni, risultando più breve il cammino della luce: ma si giunge allo stesso risultato quanto alla velocità di questa.

Nel 1727 l'astronomo inglese Bradley rivelò un fatto dal quale si desume per l'altro modo la misura della velocità della luce. Le stelle che diciamo *fisse* compiono tutte al nostro sguardo certi piccoli movimenti in un anno, cioè nel tempo che la terra impiega a percorrere l'orbita sua intorno al sole, e i movimenti son tali che le stelle situate nel piano dell'orbita terrestre descrivono delle rette, le stelle elevate di circa 90° su questo piano descrivono una elisse a piccola eccentricità, e le altre descrivono elissi non più lunghe, ma di eccentricità più grande, a norma che sono più basse verso questo piano dell'orbita dove l'elisse viene a chiudersi in una retta. Bradley conobbe che il fenomeno dipende dal moto successivo della luce, combinato col moto della terra, con la quale si move anche l'osservatore. In base a queste osservazioni si trova essere la velocità della luce 308 mila chilom. al minuto secondo, valore abbastanza prossimo al primo, trovato con l'altro metodo. Si noti che il primo metodo si riferisce alla luce che ci viene da corpi del nostro sistema planetario, e questo di Bradley alla luce che ci viene dalle stelle. I due metodi adunque, mentre si confermano l'un l'altro, dimostrano pure che la luce, sia del sole, sia delle stelle, si propaga con la medesima velocità.

Nel 1849 Fizeau, col mezzo di un ingegnoso apparecchio, conseguì per primo la misura della velocità della luce alla superficie della terra fra due punti distanti l'uno dall'altro di solo otto chilometri, e ne dedusse che in 1'' la luce percorre chilom. 315,365.

Nel 1850 Foucault, adoperando un mezzo suggerito da Arago (1838) e praticato già da Wheatstone per determinare la velocità della luce elettrica mercè il rapidissimo girare d'uno specchio, poté determinare la velocità della luce stando in una camera, e trovò chilome-

tri 298 mila. Nel 1865 verificò che la luce propagasi per l'acqua meno celere che non faccia attraverso l'aria, a motivo della maggiore densità di quel mezzo.

§ 351. Ad intendere le cose che diremo tra poco, bisogna premettere alcune osservazioni relative al modo d'operare della nostra vista.

1.^a Affinchè un punto possa essere veduto direttamente da noi, è necessario che partano da esso più raggi di luce, sia poi che i raggi abbiano in esso l'origine loro, sia che venuti d'altronde s'incrocicchino in esso, o, cangiando ivi il loro cammino, se ne dipartano come se avessero origine da quel punto.

2.^a Il punto che è nella condizione suddetta viene veduto per mezzo di quei raggi che costituiscono un cono, il cui vertice è nel punto stesso e la cui base è sulla pupilla dell'occhio. Perchè la visione sia chiara e distinta conviene che l'occhio accolga molti raggi di questo cono, e che tali raggi siano poco divergenti, cioè che il punto non sia troppo vicino alla pupilla.

3.^a L'occhio vede il punto nella direzione dell'asse del cono se i raggi sono divergenti, o del cilindro se i raggi si considerano come paralleli.

4.^a L'impressione nell'occhio, dalla quale dipende la visione del punto, è fatta solo dalla estremità dei raggi entrati nell'occhio. Però, quando non si mutano dentro l'occhio le brevissime parti dei raggi per le quali si vede il punto d'origine, l'occhio vedrà questo punto al medesimo sito, ancorchè i raggi abbiano cangiato il loro andamento fuori dell'occhio e il punto d'origine abbia mutato luogo. Anzi, se mai accadesse che più raggi partiti da punti diversi venissero a noi così commessi, per le mutate direzioni del cammino, da formare nell'occhio la base di un cono o di un cilindro, noi vedremmo in sull'asse di questo un punto luminoso, come se i raggi partissero tutti realmente da tal punto.

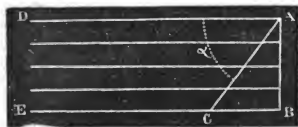
5.^a L'effetto di una impressione nell'occhio dura un breve tempo anche dopo cessata la causa. Una corda sonora che vibri ci apparisce molto più grossa che non è; chi guarda un tizzo ardente che venga menato in giro con certa velocità, vede un nastro continuo di luce, come se il tizzo si trovasse a un tempo in ogni luogo della curva. L'intervallo di tempo, in che la corda sonora o il tizzo passano da luogo a luogo, è minore del tempo che dura l'effetto dell'impressione sull'occhio, onde noi vediamo in ciascun istante la corda o il tizzo in più luoghi insieme; e così la corda pare ingrossata, e il tizzo pare che lasci dietro di sé una striscia di fuoco.

Intensità relativa delle luci.

§ 352. Ritenendosi che la *intensità della luce o della illuminazione* sia determinata dalla quantità assoluta di luce sparsa sulla unità di una superficie uniformemente illuminata, si ottiene un numero atto a rappresentare questa intensità col dividere la quantità di luce che cade su d'una data superficie piana per la grandezza della superficie. Da tale principio derivano alcune leggi della intensità della luce.

1.^a *L'intensità della illuminazione prodotta da raggi paralleli su di una superficie è proporzionale al seno dell'angolo che quei raggi fanno con la superficie.*

Si immagini un fascio di raggi di luce paralleli DAEB: si chiami q la quantità della sua luce; AC rappresenti la superficie piana su cui batte il fascio; α sia l'angolo che i raggi fanno con essa. Detta i la intensità della illuminazione su AC, sarà:



$$(173) \quad i = \frac{q}{AC}$$

Rappresenti AB la sezione fatta al fascio dei raggi perpendicolarmente alla loro direzione; sarà: $AB = AC \sin \alpha$, e quindi:

$$i = \frac{q}{AB} \sin \alpha.$$

Ora $\frac{q}{AB}$ è una quantità costante pel medesimo fascio, epperò i è proporzionale al valore di $\sin \alpha$.

Quando α è retto il seno è il massimo, e la illuminazione ha la massima intensità.

2.^a *Le intensità della luce, a diverse distanze dal punto da cui essa ha origine, sono in ragione reciproca dei quadrati delle distanze.*

La luce che in un istante qualunque move dal punto luminoso, propagandosi con uguale velocità all'ingiro, si dilata come se andasse a diffondersi sopra superficie sferiche più e più grandi aventi centro comune in quel punto. L'intensità della luce in tali superficie sferiche successive andrà diminuendo nella ragione con cui crescono le superficie medesime. Queste aumentano proporzionalmente ai qua-

drati dei raggi; perciò l'intensità della luce varia in ragione inversa dei quadrati dei raggi, ossia delle distanze dal punto luminoso.

Due liste uguali traslucide (per esempio di carta oliata) siano tese a chiudere due fessure vicine verticali di una tavola opaca; una seconda tavola opaca verticale, perpendicolare a questa, sia fissa nell'intervallo delle due fessure e proceda continua un buon tratto a dividere lo spazio al di dietro. Da ciascuna banda di questo tramezzo si collochi una fonte di luce, per esempio, una candela stearica. Se l'apparecchio, è in una camera oscura, chi guardi sul davanti le due liste traslucide vicine, vede presto s'elle sono egualmente illuminate. Poniamo che lo siano, e che inoltre ciascuna delle due fonti luminose trovisi ad eguale distanza dalla lista che essa illumina. In questo caso potrà ritenersi che la luce delle due fonti sia di eguale intensità. Abbiansi ora più lumi riconosciuti eguali a questo modo; se ne collochino quattro a illuminare l'altra lista a distanza doppia: si trova che le due liste appariscono egualmente illuminate.

Questo apparecchio serve a paragonare tra di loro le quantità di luce che le varie fonti versano sull'unità di superficie all'unità di distanza. Si fa che una lista sia illuminata da una fonte, l'altra da un'altra, e si avvicina o si allontana l'una fonte dalla corrispondente lista, finchè le due liste si vedono egualmente illuminate; allora le intensità di luce delle fonti staranno tra loro come i quadrati delle distanze di queste dalle liste. Così, fissata per unità una certa intensità di luce, si può rappresentare con un numero un'altra intensità qualunque.

Un istrumento che valga a misurare l'intensità della luce si chiama *lucimetro* o *fotometro* (φωτός, luce). L'apparecchio suddetto si dice fotometro di Bouguer dal nome dell'inventore, e serve bene quando le luci che si confrontano hanno colore uguale.

Rumford sostitui al paragone delle due liste illuminate quello delle ombre che si hanno da un medesimo corpo opaco, esposto ai due lumi nello stesso tempo. Il fotometro di Rumford è composto di un telaio su cui è tesa una lamina traslucida, dietro la quale sorge a qualche distanza un'asta opaca. Al di là dell'asta si collocano i lumi da paragonare, per esempio, una lucerna e una candela, in modo che le due ombre dell'asta corrispondenti ai due lumi cadano sulla lamina a breve distanza l'una dall'altra (vedi fig. a pag. 664). Osservandole sul davanti della lamina, ed insieme avvicinando od allontanando uno dei lumi, si trova una tale disposizione in cui le ombre sono egualmente intense. Allora le intensità delle due fonti saranno proporzionali ai quadrati delle rispettive loro distanze dalla lamina.

In alcuni casi torna pur comodo il lucimetro ideato da Wheat-

stone. Una perla (P) di acciaio ben tersa è fissa in un punto del lembo superiore di un dischetto orizzontale di sovero, il quale è sostenuto da una ruota dentata orizzontale (o), che ingrana coi denti di un'altra ruota orizzontale più grande. La ruota può così rigi-

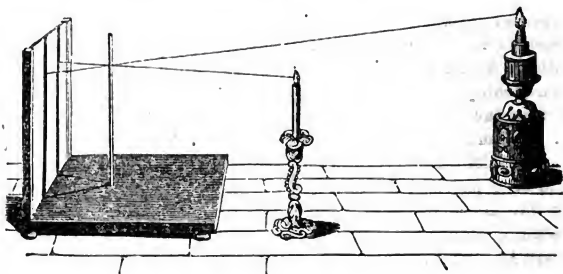


Fig. 307.

rare sul proprio asse e insieme percorrere il contorno interno della ruota più grande. Questa poi è fissata su di una scatola cilindrica di ottone annerito, sotto la quale c'è una manovella che, girata, trasmette il movimento alla piccola ruota sostenente il dischetto. La perla è così portata in giro dal duplicè movimento del dischetto, e, se il numero dei denti della ruota grande è un multiplo pari di quel della piccola, essa descrive una curva simmetrica chiusa.

Vogliasi ora paragonare la intensità di due fonti di luce (M, N), per esempio di due fiammelle di gas: si collocano le due luci a qualche distanza l'una dall'altra, si va nello spazio di mezzo col luci-



Fig. 308.



Fig. 309.

metro e si gira rapidamente la manovella: allora i due punti opposti della perla che sono brillanti per la riflessione dei raggi delle due luci, presentano all'occhio per la durata dell'impressione in quel rapido girare (§ 351, 5.^a), due striscie brillanti vicine (disposte

come nella figura 309). Se una delle striscie è più viva che l'altra, si passa con lo strumento un poco più vicino alla sorgente di luce che dà la striscia meno splendente, e tentando si trova presto quel luogo dove le due striscie riescono egualmente vivaci: ivi le intensità delle due fonti saranno proporzionali ai quadrati delle distanze delle fonti da quel luogo.

Ma ancor più semplice e meno incerto è il lucimetro di Bunsen. Un foglio di carta bianca a grana fina e regolare, e ben teso da un telaio, tiene nel suo mezzo una macchia d'unto, che, guardata d'ogni banda, appare translucida. I due lumi da paragonare sono disposti l'uno da una banda e l'altro dall'altra di quel telaio, e così che il loro centro di luce ed il centro della macchia riescano allineati. Quando le due fonti di luce vengano ridotte a tali rispettive distanze dalle due faccie del foglio da illuminarle egualmente, la macchia non appare più translucida, e per così dire scompare, come se il foglio fosse tutto bianco ed opaco, anche là dove prima distinguevasi la macchia. Misurate codeste distanze, sarà facile il calcolo della intensità relativa delle due luci.

Riflessione della luce.

§ 353. Un fascio di luce quando incontra nel suo cammino la superficie di un corpo, va soggetto a diverse modificazioni. Alcuni dei raggi vengono rimandati indietro, gli altri entrano nel corpo e vi subiscono alterazioni diverse a seconda della natura del corpo stesso.

Un fascio di raggi solari che cada su d'una superficie liscia e tersa viene in parte mandato indietro. Questo fenomeno si dice *riflessione della luce*. Alcuni raggi riflessi costituiscono un fascio che ha determinata direzione e dipinge sui corpi che incontra un'immagine chiara. Tali raggi diconsi *regolarmente riflessi*, e sono tanto più intensi quanto più liscia e tersa è la superficie. Altri raggi riflessi partono da ciascun punto della superficie illuminata spargendosi per ogni verso; questi diconsi *riflessi irregolarmente*.

Tutto ciò è manifesto a parte a parte se il fenomeno si produce in una camera buia. Il fascio dei raggi regolarmente riflessi vi segna la sua diritta via, rischiarando il polviscolo che la attraversa. La superficie riflettente nel medesimo tempo riesce visibile dai vari luoghi della camera, a cagione dei raggi irregolarmente riflessi in tutte le direzioni. Col togliere il pulito della superficie, spargendovi qualche polvere, il fascio dei raggi regolarmente riflessi impallidisce, e d'altra parte la visione della superficie illuminata diventa più chiara, ossia la intensità della luce riflessa irregolarmente cresce.

Una superficie che rifletta regolarmente in grande copia la luce si chiama *specchio*.

Esaminiamo la luce regolarmente riflessa. Cada su di una superficie piana (mn) un raggio di luce (AB); l'angolo che questo raggio

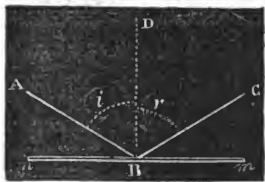


Fig. 310.

incidente fa con la (BD) normale alla superficie nel punto (B) d'incidenza chiamasi *angolo d'incidenza*. Il raggio venga riflesso regolarmente (secondo BC); l'angolo che il raggio riflesso (BC) fa con la normale suddetta chiamasi *angolo di riflessione*.

La riflessione regolare della luce su di un piano segna queste leggi:

1.^a *il raggio incidente, il riflesso e la normale sono in uno stesso piano*; 2.^a *l'angolo di riflessione è uguale all'angolo d'incidenza*.

Per queste leggi la posizione del raggio riflesso è affatto definita, essendo colla prima determinato il piano in cui sta quel raggio, e colla seconda venendo determinata la sua direzione in quel piano.

Le leggi della riflessione regolare si possono verificare mediante il seguente apparecchio. Un cerchio graduato verticale ha nel suo centro un piccolo specchio piano orizzontale (M); due regoli girevoli a cerniera intorno al centro possono prendere, nei due qua-

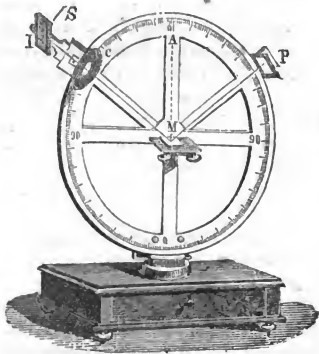


Fig. 311.

dranti superiori le posizioni dei diversi raggi geometrici; ambedue i regoli sono prolungati un poco al di là della graduazione. Nel prolungamento l'uno porta un dischetto opaco (C) che ha un piccolo foro nel mezzo; per questo foro può passare un raggio di luce, che poi scorrendo parallelo al regolo, colpisce lo specchio (M) al centro del cerchio. L'altro regolo porta una laminetta di vetro smerigliato (P). In capo al primo regolo vi è pure, più infuori del dischetto, un piccolo specchio piano (I), che può inclinarsi variamente, gi-

rando intorno ad un asse perpendicolare al piano del cerchio graduato.

Ecco ora l'esperimento. Si riceve la luce del sole, o d'altra fonte, su quest'ultimo specchio, il quale s'inclina in modo che mandi un raggio pel foro del dischetto a cadere sul primo specchio, e proprio

in un punto di esso che sia dinanzi al centro del cerchio graduato. Questo raggio incidente viene di qui riflesso in una direzione che si designa recando la laminetta di vetro smerigliato a riceverlo nelle sue parti di mezzo, il che si fa col far girare il regolo che la porta. In tale disposizione si verifica che il raggio riflesso è in quel piano parallelo al piano del cerchio graduato nel quale sono pure il raggio incidente e la normale allo specchio nel punto d'incidenza. Si verifica altresì che gli angoli formati dai due regoli col diametro verticale del cerchio graduato (PMA, CMA) sono eguali, e con ciò è dimostrata la seconda legge.

Questa legge si dimostra con maggior precisione in quest'altro modo. Un cannocchiale, il quale ruota attorno un asse passante pel centro di un grande cerchio graduato, è disposto per modo che il suo asse ottico, ruotando, si mantenga in un piano verticale. A qualche distanza ed in basso, siavi un largo piatto contenente mercurio ben terso, il quale formerà colla sua superficie libera uno specchio orizzontale. Si rivolge poi il cannocchiale ad una determinata stella visibile in quel piano, indi lo si inclina così da scorgere, per riflessione data dal mercurio, l'immagine della medesima stella. Leggendo in ciascuna di queste direzioni del cannocchiale l'angolo formato dall'asse ottico coll'orizzonte passante per l'asse di rotazione, si rilevano eguali tra loro le due inclinazioni dei raggi diretto e riflesso.

La riflessione regolare di un raggio di luce su d'una superficie curva si fa come si farebbe sul piano tangente la superficie nel punto d'incidenza, giacchè una superficie curva può dirsi formata di elementi piani infinitamente piccoli, che appartengono altresì ai diversi piani tangenti la superficie.

Specchi.

§ 354. Si dice che due punti sono *simmetrici* l'uno dell'altro rispetto ad un piano, quando sono situati su d'una medesima perpendicolare al piano e ad uguale distanza da esso, l'uno da una parte l'altro dalla parte opposta. Si dice pure che due linee o due superficie sono simmetriche l'una dell'altra rispetto ad un piano, quando tutti i punti dell'una sono simmetrici di tutti i punti corrispondenti dell'altra.

Fra i raggi che un punto luminoso (A) manda su d'uno specchio piano (MN), consideriamone parecchi, i quali costituiscono un cono (ABC) col vertice (A) nel punto luminoso e la base (BC) nel piano dello specchio. Questi vengono riflessi in modo che dopo la riflessione formano la continuazione di quel medesimo cono, ma così ri-

volta come se il cono avesse il vertice nel punto (a), che è simmetrico del punto luminoso (A) rispetto al piano dello specchio.

Se davanti allo specchio un occhio riceve di questi raggi, l'impressione risulta quale se fossero partiti realmente dal punto (a) simmetrico del luminoso rispetto allo specchio, e l'occhio vede tale punto come fosse l'origine vera dei raggi (§ 351).

Il punto così veduto si dice *immagine* del punto luminoso.

Se ora si considerano i punti consecutivi della superficie di un corpo luminoso o illuminato (AB) dai quali cadono raggi sullo specchio, e si ripete per ciascuno di essi ciò che si è detto di sopra, s'intende come l'occhio abbia a vedere al di là dello

specchio altrettanti punti luminosi (ab), e tutti situati al di là a quella distanza e in quell'ordine che sono situati davanti lo specchio i punti superficiali del corpo

(oggetto). Il complesso di questi punti visibili forma un'immagine dell'oggetto, simmetrica di questo relativamente al piano dello specchio.

È dunque facile costruire l'immagine di un corpo veduta in uno specchio piano. Da tutti i punti del corpo, dai quali possono cader raggi sullo specchio, si abbassino su questo delle perpendicolari, e si prolunghino al di là dello specchio di tanto

quanto son lunghe al di qua; i punti estremi dei prolungamenti costituiscono l'immagine. Per questa costruzione è evidente che negli specchi piani l'immagine ha la stessa grandezza dell'oggetto.

Nello specchio naturale delle acque tranquille l'immagine degli oggetti verticali risulta capovolta, per essere simmetrica degli oggetti. Da questa direzione della vista proviene il nome di *κατοπτρον*, che i Greci diedero agli specchi in generale (*κατα* giù, *ὄπτομαι* vedo), e da questo nome i fisici chiamarono *catottrica* tutta la dottrina della riflessione della luce.

Gli specchi di uso comune sono lastre di vetro o di cristallo ben pulite, coperte nella faccia posteriore con una foglia di amalgama

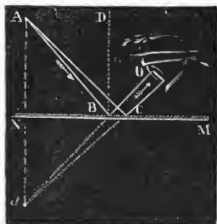


Fig. 312.

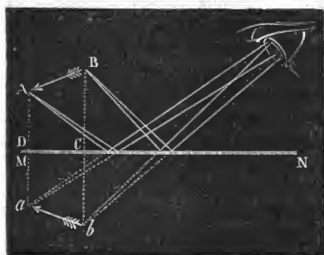


Fig. 313.

di stagno. L'immagine è data dai raggi che, attraversato il vetro, vengono riflessi dalla foglia metallica. La superficie anteriore del vetro riflette anch'essa alcuni raggi e dà un'altra immagine più debole che nuoce alla nettezza della prima. Gli specchi metallici non hanno quest'inconveniente.

Quando un corpo luminoso è fra due specchi piani paralleli, si vede in ciascuno di questi una fila di molte e molte immagini del corpo, tanto meno vivaci quanto più sono distanti sulla fila. Accompagnando i raggi nelle successive riflessioni loro dall'uno all'altro specchio, si scorge di leggeri come si produca il fenomeno e quale sia la legge delle distanze mutue delle immagini. Se i due specchi non sono paralleli, ma comprendono un angolo, le immagini si distribuiscono all'ingiro dell'angolo degli specchi e il loro numero dipende dalla grandezza di questo angolo.

Gli specchi siano perpendicolari l'uno all'altro; appariscono all'occhio (E) tre immagini (O' O'' O''') situate ai tre angoli di un quadrilatero, che ha nel quarto angolo l'oggetto (O). Una immagine (O') si ha dai raggi (come OCE) riflessi una sola volta da uno degli specchi; un'altra (O'') dai raggi (come ODE) riflessi una sola volta dall'altro specchio; la terza (O''') dai raggi che (come OABE) sono riflessi due volte, una da ciascuno specchio. Se l'angolo degli specchi è di 60° si vedono 5 immagini, se di 45° se ne vedon 7, e il numero delle immagini cresce al diminuire dell'angolo.

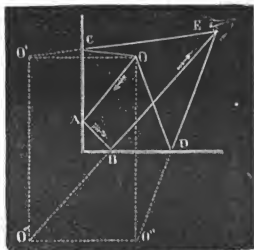


Fig. 314.

Il caleidoscopio di Brewster (*Καλὸς* bella, *εἶδος* figura, *σκοπέω* osservo) è un tubo entro cui trovansi due specchi piani riuniti ad angolo di 45° lunghesso un lato del tubo. Ad una estremità vi sono, fra due vetri piani, diversi minuzzoli di metalli e di vetri di vario colore e liberi di muoversi. Chi vi guarda per l'altra estremità e fa girar intanto nella mano l'istrumento, vede codesti oggetti e le sette immagini loro, il tutto simmetrico intorno all'angolo degli specchi, e le figure simmetriche mutarsi per le diverse disposizioni che prendono gli oggetti col moto dell'istrumento.

§ 355. Quanto all'intensità della luce riflessa regolarmente, sappiamo che:

a) Diminuisce al diminuire dell'angolo d'incidenza, ma non si annulla quando si annulla quest'angolo.

b) A pari angolo d'incidenza è molto diversa per le sostanze riflettenti di natura diversa.

c) Dipende non solo dalla sostanza che riflette la luce, ma insieme anche dal mezzo nel quale la luce si muove.

Valgano alcuni esempi a dichiarare questi fatti generali. Se guardasi obliquamente una tavola di legno liscia o un foglio di carta, cui stia dinanzi la fiamma d'una candela, si vede per riflessione una immagine della fiamma tanto più viva, quanto più obliqui sono i raggi riflessi che si accolgono nell'occhio. Le immagini date per riflessione, sotto il medesimo angolo, da sostanze diverse, hanno vivezza molto diversa: il mercurio e l'acciaio le danno molto più vive che l'acqua o il vetro.

§ 356. Gli specchi a superficie curva ponno farsi di varie sorta, o sferici, o ellittici, o parabolici, ecc. Quelli che si ado-



Fig. 315.

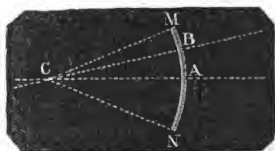


Fig. 316.

perano dippiù nelle ricerche scientifiche sono gli sferici, che sono piccole calotte di sfere a grande raggio. Si distinguono in concavi e convessi. Il punto (A), che è equidistante da tutti i punti del contorno, si chiama *centro di figura*; il centro (C) della sfera, di cui lo specchio è un segmento, si chiama *centro geometrico* o *di curvatura* dello specchio. *Asse principale*, o semplicemente *asse* dello specchio, è la retta indefinita (AC) che passa pel centro di figura e pel geometrico; un *asse secondario* è una retta indefinita (BC) che passa per un punto qualunque (B) della superficie sferica il quale non sia il centro di figura, e pel centro geometrico. *Sezione principale* o *sezione meridiana* di uno specchio è una sezione (MAN) fatta allo specchio con un piano passante per l'asse principale; questo piano prende il nome di *piano meridiano*. Si dice *apertura d'uno specchio* l'angolo (MCN) compreso fra i raggi condotti dal centro geometrico a due punti del contorno che sono in una medesima sezione principale.

Un fascio di raggi paralleli (HB, CD) cada su d'uno specchio concavo in direzione parallela all'asse. È facile trovare l'andamento di ciascun raggio riflesso, giacchè ciascun raggio si riflette come se cadesse sul piano tangente la superficie sferica dello specchio nel

punto d'incidenza; la normale a questo piano, che è insieme normale alla superficie dello specchio nel punto d'incidenza, è il raggio geometrico condotto ad esso punto. I raggi riflessi hanno tale mu-

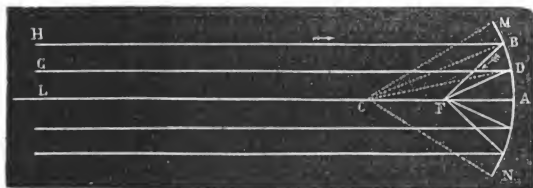


Fig. 317.

tua direzione, che si incrocicchiano sensibilmente in un medesimo punto (F) dell'asse, il quale punto è alla metà del raggio geometrico (CA) corrispondente al centro di figura; e ciò si dimostra nel seguente modo.

HB sia uno qualunque dei raggi incidenti paralleli all'asse CA; CB è la normale alla superficie nel punto d'incidenza; BF sia il raggio riflesso. È $FBC = HBC$; ma $HBC = BCF$, dunque $FBC = BCF$, e quindi $BF = FC$; ma per essere AB un arco di pochissimi gradi, si può ritenere che sia sensibilmente $BF = AF$, e però $FC = AF$, o $AF = \frac{1}{2} AC$, e ciò per qualunque raggio incidente parallelo ad AC. Dunque tutti i raggi riflessi concorrono press'a poco in uno stesso punto F alla metà di AC.

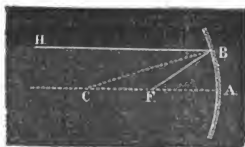


Fig. 318.

Il punto (F) dove concorrono i raggi riflessi, corrispondenti a raggi incidenti paralleli all'asse principale, si chiama *fuoco principale*.

In genere un punto, in cui più raggi luminosi concorrono, si dice *fuoco*; per estensione si applica codesto nome anche ad un punto a cui collimano le direzioni di più raggi, senza che tuttavia questi vi concorrano, quale è, per esempio, ciascun punto della immagine d'uno specchio piano. Il fuoco dove concorrono realmente i raggi si dice *reale*; quello dove concorrono solo le direzioni dei raggi si appella *virtuale*. Questi epiteti si applicano anche alle immagini costituite dai fuochi.

Dalla legge, che l'angolo di riflessione e l'angolo d'incidenza sono eguali, consegue che, ove si ponga al fuoco principale di uno spec-

chio concavo un punto luminoso, i raggi verranno riflessi dallo specchio tutti parallelamente all'asse.

Se un fascio di raggi paralleli cade su d'uno specchio convesso parallelamente all'asse, i raggi riflessi hanno tale mutua direzione,

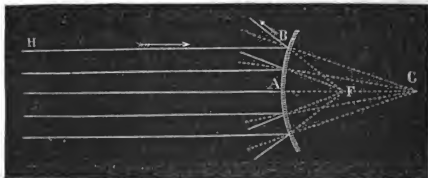


Fig. 319.

che i loro prolungamenti al di dietro dello specchio s'incrocicchiano tutti sensibilmente in un medesimo punto (F) dell'asse, il quale punto è alla metà del raggio geometrico (CA) corrispondente al centro di figura. Anche questo punto si chiama *fuoco principale*: è manifesto che il fuoco principale d'uno specchio convesso è virtuale.

Ed infatti sia HB uno dei raggi incidenti paralleli all'asse AC;

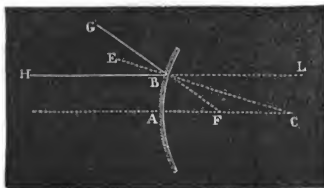


Fig. 320.

CBE è la normale allo specchio nel punto d'incidenza; BG sia il raggio riflesso. Si prolunghino dietro lo specchio e il raggio incidente e il riflesso; sia F il punto in cui il prolungamento del raggio riflesso taglia l'asse. Si ha $\angle GBE = \angle HBE$, dunque $\angle FBC = \angle CBL$. Ma $\angle CBL = \angle BCF$, dunque $\angle FBC = \angle BCF$, e quindi $CF = FB$, e per essere pros-

simamente $FB = FA$, si può ritenere che sia $CF = FA$, e però $FA = \frac{1}{2} CA$.

La distanza del fuoco principale dal centro di figura si dice *di stanza focale* dello specchio; essa eguaglia la metà del raggio geometrico, ossia del raggio di curvatura dello specchio.

§ 357. Ecco ora le principali proposizioni circa il fuoco degli specchi sferici.

Negli specchi concavi:

1.° I raggi incidenti, partiti da un medesimo punto L situato sul-

l'asse principale, danno sempre per effetto della riflessione un fuoco f) situato pure su quell'asse.

2.^o Il punto luminoso e il suo fuoco sono *reciproci* tra di loro,

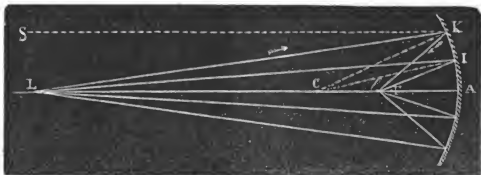


Fig. 321.

cioè in tal relazione che se al sito del fuoco si colloca il punto luminoso, questo forma il proprio fuoco precisamente al sito del punto luminoso. Tale relazione è una conseguenza evidente della legge che gli angoli di riflessione sono eguali agli angoli rispettivi d'incidenza. Per codesta reciprocità il punto luminoso (chiamato, per estensione, fuoco anch'esso) e il fuoco suo diconsi *fuochi conjugati*.

3.^o Se il punto luminoso dista dallo specchio più che il fuoco principale, il suo fuoco conjugato è reale. Perciocchè se, quando il punto luminoso è al fuoco principale, i raggi riflessi sono paralleli, quando poi il punto è più lontano dallo specchio, agli angoli d'incidenza divenuti minori corrispondono angoli pur minori di riflessione, onde i raggi riflessi son convergenti, e però il fuoco è reale.

4.^o Se il punto luminoso è, per così dire, a distanza infinita dallo specchio, e quindi i raggi incidenti son paralleli, il fuoco è alla metà del raggio di curvatura dello specchio; è il *fuoco principale*.

5.^o Se il punto luminoso è a molta distanza dallo specchio, il suo fuoco conjugato è prossimo al fuoco principale, ma più distante che non questo; perchè i raggi che cadono sullo specchio essendo divergenti, fanno angoli d'incidenza più piccoli che non i raggi paralleli, ed anche gli angoli di riflessione sono più piccoli, e così i raggi riflessi convergono all'asse meno rapidi che non quando i raggi incidenti sono paralleli.

Mano mano che il punto luminoso avvicinasì allo specchio, il fuoco suo procede lentamente dal fuoco principale verso il centro geometrico.

6.^o Quando il punto luminoso è al centro geometrico, anche il suo fuoco vi è. Allora i raggi di luce incidenti, come tutti normali allo specchio, si riflettono ciascuno sulla propria via e ritornano a incrociarsi nel centro geometrico.

7.^o Quando il punto luminoso è al fuoco principale dello specchio, i raggi riflessi riescono tutti paralleli tra loro, cioè il fuoco è a distanza infinita dallo specchio.

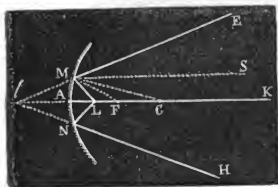


Fig. 322.

8.^o Se la distanza (LA) del punto luminoso dallo specchio è minore della distanza focale (FA), il fuoco (I) è virtuale; poichè i raggi riflessi (ME, NH....) riescono divergenti e non possono più incrociarsi. Bensì le loro direzioni collimano tutte ad un punto (I) situato dietro lo specchio ed essi operano sull'occhio come se partisero da questo punto, il quale riesce così una immagine virtuale del punto luminoso.

Negli specchi convessi:

9.^o Il fuoco (F) è sempre virtuale; e per ogni distanza finita (LA)

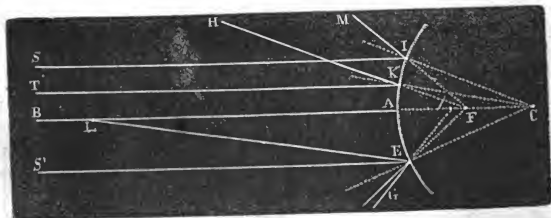


Fig. 323.

del punto luminoso, il fuoco (f) è situato tra lo specchio e il fuoco principale (F).

Negli specchi concavi e convessi:

10.^o Se uno dei fuochi coniugati cangia di luogo, avvicinandosi allo specchio od allontanandosi, cangia di luogo anche l'altro, e ciò per tal guisa che i due fuochi coniugati camminano sempre in versi contrari.

11.^o Tutte queste proposizioni, nelle quali abbiamo supposto che il punto luminoso sia sull'asse principale, valgono similmente quando il punto luminoso, e però anche il suo fuoco, è su di un asse secondario (QD), di poco inclinato all'asse principale.

Allora per trovare il fuoco coniugato del punto luminoso si disegna il raggio di luce (QA) che incide sul centro di figura dello specchio, o qualunque altro raggio, e si disegna il raggio riflesso corri-

spendente (AQ'); il fuoco è là (in Q') dove questo incontra l'asse secondario, giacchè un raggio riflesso qualunque deve pure incontrare l'asse secondario nel fuoco conjugato.

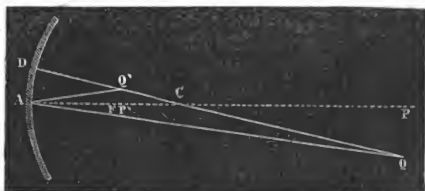


Fig. 324.

§ 358. Sia dinanzi allo specchio un corpo luminoso o illuminato; ogni punto della sua superficie, dal quale cadono raggi sullo specchio, dà un fuoco reale o virtuale, situato sull'asse secondario o principale in cui è il punto; il complesso di questi fuochi forma l'*immagine* reale o virtuale del corpo.

Ecco in che modo al variare del sito dell'oggetto variano le condizioni della immagine, che sono: la natura di essa (o reale o virtuale), il sito, la disposizione (o diretta o capovolta), e la grandezza.

Quando lo specchio è concavo, se l'oggetto (PQ) è al di là del centro geometrico, l'immagine ($P'Q'$) è reale, situata fra il centro geometrico e il fuoco principale, capovolta, e più piccola dell'oggetto. Se l'oggetto (per es. $P'Q'$) è tra il centro e il fuoco princi-

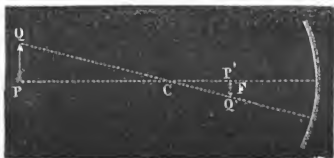


Fig. 325.

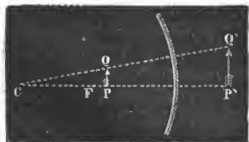


Fig. 326.

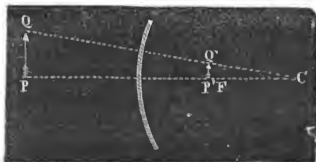


Fig. 327.

pale, l'immagine è reale (PQ), al di là del centro geometrico, capovolta, e maggiore dell'oggetto. Se l'oggetto è tra il fuoco principale e

lo specchio, l'immagine è virtuale, diritta e più grande dell'oggetto.

Quando lo specchio è convesso, l'immagine è sempre virtuale, diritta e più piccola dell'oggetto.

Queste proposizioni, nei casi che l'immagine è reale, si usa verificarle in una camera oscura, servendosi della fiamma di una candela per oggetto.

§ 359. Parlando dei fuochi degli specchi sferici, si accennò che i raggi partiti da un dato punto dell'oggetto non convergono tutti dopo la riflessione ad un unico punto. Essi s'intersecano in punti tanto meno vicini a quello che abbiamo chiamato fuoco, quanto più i punti che li riflettono sono distanti dal centro di figura, misurata

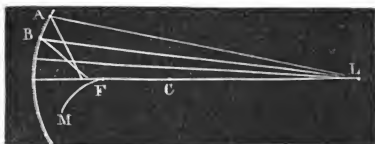


Fig. 328.

la distanza in gradi sulla sezione meridiana dello specchio. Ciò si dice *aberrazione di sfericità per riflessione* e nuoce alla nettezza delle immagini. Perciò s'è detto che codesti specchi esser devono piccole calotte sferiche di grande raggio. Affinchè l'aberrazione sia piccola e l'immagine netta, conviene che l'apertura dello specchio sia di un piccolo numero di gradi, non più di 8° o 10° .

I raggi riflessi che trovansi in un medesimo piano meridiano s'incontrano a due a due prima di arrivare all'asse (come vedesi dei raggi riflessi in A e B), e costituiscono coi loro punti d'incontro una curva regolare (di cui un ramo è FM). Il complesso di queste curve nei vari piani meridiani, ossia la superficie generale della rivoluzione di una di tali curve intorno all'asse, è una superficie splendente che si chiama *caustica per riflessione*, o *catacaustica*. La sommità (F) di tale superficie è il luogo dove la luce è più viva, perchè là concorre un maggior numero di raggi, ed è quello che si chiama il fuoco del punto luminoso.

Coll'aiuto della geometria si è potuto determinare qual è la superficie che non dà aberrazione per riflessione, e si è trovato ch'essa è una superficie parabolica. Questo problema offre un interesse quasi puramente teorico: poichè in pratica riesce difficilissimo costruire una tal superficie.

Rifrazione della luce.

§ 360. La luce, quando arriva alla superficie di un corpo diafano, in parte vi si riflette e in parte entra nel corpo stesso, ma deviando dalla primitiva direzione. Che in parte si rifletta è provato da questo, che non v'ha superficie liscia di corpo diafano che non faccia un tal poco da specchio, ed anche da questo, che la superficie di ogni corpo diafano ci riesce visibile. Che una parte della luce poi entri nel corpo è provato dal fatto stesso della trasparenza. Però nell'atto in cui la luce passa da uno all'altro mezzo essa devia dal retto cammino. Tale fenomeno si chiama *rifrazione* della luce, e la parte di scienza che lo prende a soggetto si chiama *diottrica* (*διά* attraverso, *ᾠπτομαι* vedere) perchè la rifrazione è un fatto connesso colla trasparenza.

Immaginiamo due mezzi diafani diversi, contigui l'uno all'altro secondo una superficie piana (il cui profilo sia AB). Un raggio di luce (LI) che si propaga in uno dei mezzi cada su questa superficie. Pel punto d'incidenza (I) si tiri la normale (PIP') alla superficie, e la si prolunghi in ambidue i mezzi. Il raggio di luce entrato nell'altro mezzo non procede secondo la direzione (IL') del suo cammino, facendo colla normale un angolo eguale a quello che faceva prima, ma devia, od accostandosi alla normale (per esempio secondo IR) od allontanandosi (per esempio secondo IR'), e però fa con essa un angolo che è o minore o maggiore di quello che faceva nel primo mezzo. Il raggio, finchè trovasi nel primo mezzo, si dice *raggio incidente* (LI); dopo che è passato nel secondo, si dice *raggio rifratto* (IR, IR'). L'angolo compreso dal raggio incidente e dalla normale (LIP) si chiama *angolo d'incidenza* quello compreso dal raggio rifratto e dalla normale (RIP', o R/P') *angolo di rifrazione*.

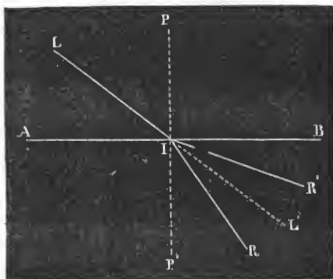


Fig. 329.

La rifrazione della luce alle superficie piane si fa con le seguenti leggi:

1.^o Il raggio incidente, il raggio rifratto e la normale si trovano in uno stesso piano.

2.° Il rapporto tra il seno dell'angolo d'incidenza e il seno dell'angolo di rifrazione è costante per i medesimi mezzi, comunque varii l'angolo d'incidenza.

3.° Se la luce quando passa da un mezzo in un altro tiene per la rifrazione una data via, quando passa poi dal secondo mezzo nel primo segue le medesime direzioni in ordine inverso.

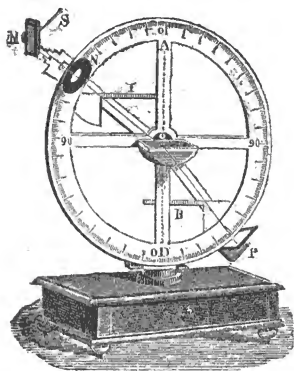


Fig. 330.

lo dell'angolo di rifrazione (POD) si possono misurare con due regoli graduati (I,B).

§ 361. Il rapporto costante fra il seno dell'angolo d'incidenza e quello dell'angolo di rifrazione per due mezzi si chiama *indice di rifrazione* per quei mezzi. L'indice di rifrazione per l'aria e l'acqua è circa $\frac{4}{3}$, per l'aria e il vetro comune è circa $\frac{3}{2}$.

Di due mezzi quello che a pari circostanze avvicina di più il raggio alla normale dicesi *più rifrangente*, l'altro *meno rifrangente*. Così l'acqua è più rifrangente dell'aria.

Noto l'indice di rifrazione per due mezzi, è facile trovare per le leggi della rifrazione l'andamento che terrà la luce nel passare dall'uno nell'altro.

Sia n l'indice di rifrazione per due mezzi quando la luce passa dal meno rifrangente nel più rifrangente, sia i l'angolo d'incidenza r quello di rifrazione: si ha:

$$(174) \quad \text{sen } r = \frac{1}{n} \text{sen } i.$$

Queste leggi della rifrazione si ponno verificare con l'apparecchio che servi per quelle della riflessione regolare (§ 353). Si sostituisce allo specchio piano nel centro del circolo graduato una coppa semi-cilindrica di vetro piena d'acqua, facendo che l'asse di questa coppa sia perpendicolare al piano del circolo in esso centro. Il raggio incidente sulla superficie dell'acqua dinanzi al centro del cerchio graduato entra nell'acqua rifrangendosi, ma nell'escire attraversa le pareti del vaso direttamente senza rifrangersi, perchè la sua direzione è perpendicolare a queste pareti curve. Il seno dell'angolo d'incidenza (MOA) e quel-

Se la luce passa invece dal mezzo più rifrangente al meno rifrangente, si ha per la terza legge:

$$(175) \quad \text{sen } r = n \text{ sen } i.$$

Le due equazioni (174) e (175) definiscono l'angolo di rifrazione, e però la direzione del raggio rifratto nei due casi. Esse indicano che l'angolo di rifrazione cresce al crescere di quello di incidenza. Se vi si pone $i=0$, se ne ha $r=0$, e ciò dimostra che il raggio normale alla superficie rifrangente non subisce deviazione, come già abbiamo detto.

§ 362. Se la luce move da un mezzo ad un altro più rifrangente, per esempio dall'aria all'acqua, avviene sempre ch'ella passi da quello a questo, per quanto grande sia l'angolo d'incidenza; giacchè dovendo l'angolo di rifrazione essere minore dell'angolo d'incidenza, la rifrazione è possibile sempre con le sue leggi. Infatti, essendo nella formola (174) tanto $\frac{1}{n}$ quanto $\text{sen } i$ minori dell'unità,

$\text{sen } r$ sarà pure minore dell'unità e l'angolo r sempre reale. Ma se la luce move da un mezzo ad un altro meno rifrangente, per esempio dall'acqua all'aria, il passaggio non è più possibile quando l'angolo d'incidenza supera una certa misura (segnata dalla seconda legge del § 360), quella cioè alla quale corrisponde un angolo di rifrazione retto. E difatti in tal caso il valore di r dato dalla equazione (175) non può essere reale fin che $\text{sen } i > \frac{1}{n}$, poichè si avrebbe $\text{sen } r$ maggiore dell'unità, ed r angolo immaginario.

Il maggiore degli angoli d'incidenza pei quali si effettua il passaggio della luce nel mezzo meno rifrangente, dicesi *angolo limite*.

Quest'angolo è dato dalla relazione $\text{sen } i = \frac{1}{n}$, avendosi allora $\text{sen } r = 1$. La rifrazione non è possibile per angoli d'incidenza aventi il seno maggiore di $\frac{1}{n}$.

Quando un raggio (PO) che si propaga in un mezzo si presenta alla superficie (OR) che divide tal mezzo da un altro meno rifrangente, facendo un angolo d'incidenza (POB) maggiore dell'angolo limite (SOB), esso si riflette in modo regolare nel primo mezzo (secondo OQ), come se la superficie di divisione fosse uno specchio. E qui la luce si riflette non solo in parte, come negli altri casi di riflessione, ma tutta quanta, giacchè

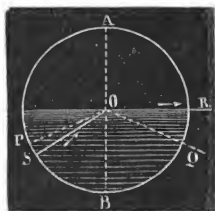


Fig. 331.

nessun raggio può passare nel mezzo meno rifrangente: perciò il fenomeno si dice della *riflessione totale*.

Ora l'indice di rifrazione per il vetro, quando la luce vi passa dall'aria, essendo circa $\frac{3}{2}$, nel passaggio della luce dal vetro nell'aria l'angolo limite sarà quello il cui seno è $\frac{2}{3}$, cioè $41^\circ . 48'$. Similmente si trova che nel passaggio della luce dall'acqua nell'aria l'angolo limite è di $48^\circ . 35'$.

Il fenomeno della riflessione totale si verifica di leggieri coll'esperimento. Sul tavolo, ove posa un recipiente parallelepipedo di vetro pieno d'acqua, si collochi un oggetto (A) così discosto dal vaso che la luce (Am) ch'esso invia alla superficie dell'acqua, vi incida con un angolo maggiore dell'angolo limite; si guardi dall'altra parte del vaso la superficie dell'acqua di basso in alto, e si vedrà la immagine dell'oggetto (in a), non altrimenti che se la superficie dell'acqua fosse uno specchio.

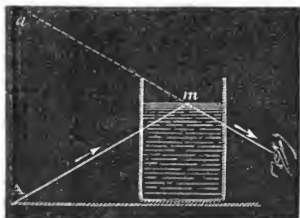


Fig. 332.

Così possiamo intendere come un oggetto posto in fondo di un vaso apparisca rialzato, quando si sia messa nel vaso dell'acqua.

In generale gli oggetti che sono in un mezzo più rifrangente di quello da cui li osserviamo ci appaiono ravvicinati alla superficie piana dividente i mezzi, e gli oggetti che sono in un mezzo meno rifrangente ci appaiono allontanati da tale superficie.

Per rifrazione il sole si vede apparire sull'orizzonte un po' prima e tramontare un po' dopo dell'istante in che realmente sorge o tramonta.

§ 363. Il basso Egitto è una vasta pianura, sparsa di poggetti sui quali stanno palazzi e casali al sicuro dalle inondazioni periodiche del fiume. L'atmosfera d'ordinario vi è purissima e la vista si distende per un largo orizzonte. Quando la vampa assidua del sole infoca il terreno, e l'aria è immobile, appare al viandante un magnifico spettacolo. Si vedono ancora que' poggetti coi palazzi ed i casali; ma d'intorno ad essi il suolo è scomparso, ed invece si ravvisano le immagini loro capovolte, come se tutto sorgesse fuori da un lago tranquillo. Il sereno del cielo fa completa l'illusione, circondando il quadro del suo azzurro, non altrimenti che fa nello specchio delle acque. Se il viandante si avvicina, vede il margine arrestarsi, restringersi e l'incanto svanire; là dove pareva il guazzo egli non trova che l'arido terreno; ma in lontananza mira crearsi un'altra

scena d'ugual fatta, un nuovo inganno. Questo fenomeno si dice *miraggio*. I soldati della spedizione francese in Egitto lo ebbero ad

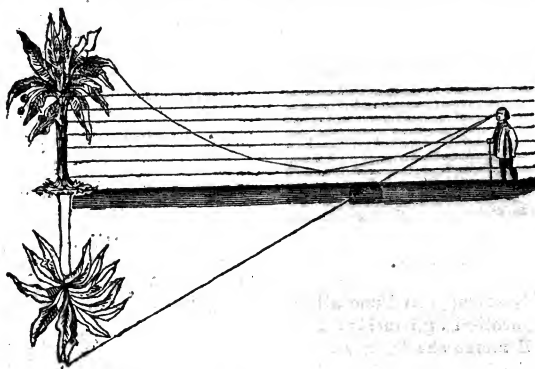


Fig. 333.

osservare più volte, ed il geometra Monge ne diede subito la spiegazione.

Il suolo, scaldatosi ai raggi solari, comunica calore all'aria, che vi incombe, la quale dal basso tende a dilatarsi di strato in strato, senza tuttavia salire in quella grande calma dell'atmosfera. Così nell'aria vicina al suolo la legge della densità trovasi invertita, che gli strati più bassi sono i meno densi e la densità cresce all'insù fino a un certo limite, oltre al quale poi diminuisce come al solito. I raggi di luce che dagli oggetti discendono obliqui nell'aria, quando attraversano queste falde prossime al suolo, passano dunque per una serie di strati di meno in meno rifrangenti, essendo l'aria tanto meno rifrangente quanto minore è la sua densità: però divergono sempre più dalla verticale e si incurvano volgendo la convessità verso il mezzo meno denso, cioè nel caso nostro verso il basso; l'angolo d'incidenza cresce tanto che varca l'angolo limite (§ 362); allora la rifrazione non è più possibile, si fa invece la riflessione totale, e i raggi risalgono curvandosi ancora come prima. L'occhio, che riceve i raggi riflessi, vede una immagine degli oggetti quale presso a poco sarebbe data da un lago.

§ 364. Quando la luce attraversa un mezzo le cui superficie sono piani paralleli, avviene che le due deviazioni dalla normale all'entrata ed all'uscita, si compensano, onde i raggi emergenti sono poi paralleli agli incidenti. Di fatto l'angolo di rifrazione di un raggio

all'entrata (BAI), atteso il parallelismo delle due superficie, eguaglia l'angolo d'incidenza all'uscita (ABK), e quindi, per la legge

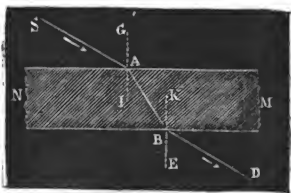


Fig. 334.

di reciprocità (§ 360), deve corrispondere a questo un angolo di rifrazione all'uscita (DBE) eguale a quello di incidenza all'entrata (SAG), cioè il raggio (SA) che entra e il raggio (BD) che esce devono fare con le rispettive normali parallele (GI, KE) angoli eguali, e però tenere direzioni parallele tra loro.

Se la luce attraversasse più mezzi diversi a superficie piane pa-

rallele, sovrapposti l'uno all'altro, i raggi emergenti sarebbero ancora paralleli agli incidenti.

Se il mezzo che la luce attraversa ha poca grossezza, si può ritenere che il raggio incidente e l'emergente siano su d'una medesima retta, giacché allora i punti (A,B) d'incidenza e d'emergenza trovansi vicini l'uno all'altro. È per questo che non ci accorgiamo di spostamento alcuno degli oggetti veduti obliquamente attraverso le invetrate.

L'indice di rifrazione per due mezzi è uguale al rapporto inverso degli indici di rifrazione di tali due mezzi rispetto a uno stesso mezzo; vale a dire, se m ed m' sono gli indici di rifrazione dei due mezzi P e Q rispetto a un terzo mezzo S, l'indice n di rifrazione della luce nel passare da P a Q è $\frac{m'}{m}$.

Laonde gli indici di rifrazione per le diverse coppie possibili di corpi potranno desumersi dagli indici corrispondenti al passaggio della luce dal vuoto in ciascuna sostanza, poichè l'indice di rifrazione per due date sostanze sarà eguale al rapporto inverso degli indici di rifrazione di esse rispetto al vuoto. Questi indici valgono altresì a caratterizzare, in riguardo alla rifrazione, la natura e lo stato di una sostanza diafana, indipendentemente da ogni altra sostanza vicina, e perciò son detti *indici assoluti* od anche *principali* delle diverse sostanze. Siccome i gas sono poco rifrangenti in confronto dei solidi e dei liquidi, così suolsi prendere ad indice assoluto di un corpo solido o liquido quello che si ha nel passaggio della luce dall'aria in tale corpo.

Prismi.

§ 365. Un raggio di luce attraversi un prisma triangolare di cri-

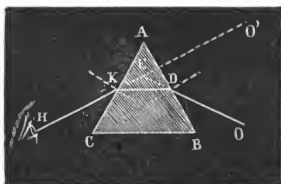


Fig. 335.

stallo. L'angolo diedro (CAB) delle due facce per le quali passa il raggio nell'entrata e nell'uscita, si dice *angolo rifrangente* del prisma; lo spigolo di quest'angolo (la retta di cui è sezione il punto A) si chiama *vertice* del prisma; la faccia opposta al vertice (quella di cui è sezione la CB) *base* del prisma; ciascuna sezione del prisma la quale sia perpendicolare al ver-

tice (per esempio ABC) *sezione principale*.

Chi guarda attraverso un prisma, vede gli oggetti molto fuori del vero sito e tinti gli orli paralleli al vertice del prisma dei principali colori dell'arcobaleno; vede rialzati gli oggetti se il vertice del prisma è orizzontale e volto all'insù; li vede rabbassati se il vertice è orizzontale e volto all'ingiù. Nelle altre disposizioni del prisma li vede spostati dentro quel piano perpendicolare al vertice in cui si trovano, e sempre in modo che sieno fatti più vicini al vertice.

Se il prisma dà adito in una camera oscura ad un pennello di raggi solari, l'immagine che questo pennello va a dipingere dopo la rifrazione su d'uno schermo si trova sempre piegata dalla parte della base del prisma e allungata pel verso del piegamento, ed è adorna dei colori dell'iride. Di questi diremo poi: ora prendiamo in esame il fenomeno del piegamento.

Si ponga mente, per semplicità, a un solo raggio (OD) che parte da un punto (O) di un oggetto e va a cadere sul prisma, dirigendosi nel piano di una sezione principale (ABC). Il raggio, rifrangendosi all'entrata (in D), serbasi nel piano (ABC) d'incidenza e si ravvicina alla normale, perchè passa dall'aria in un mezzo più rifrangente; si piega dunque verso la base (CB) del prisma. Percorso l'interno del prisma in questa nuova direzione (DK), si rifrange di nuovo all'uscita dall'altra faccia, serbandosi tuttavia nel medesimo piano e allontanandosi questa volta dalla normale, perchè passa dal cristallo nell'aria; ma con ciò, atteso la mutua disposizione delle normali, esso viene a piegarsi ancora di più verso la base del prisma. Il raggio dunque deviò due volte dalla stessa parte e riesce con direzione (KH)

così mutata, che un occhio il quale lo accolga, dee vedere (§ 351) il punto da cui è partito come fosse molto trasposto verso il vertice del prisma (sulla KO'), non però uscito fuori del piano di sezione principale in cui è rifratto. La diversione che il prisma opera così sulla luce, è misurata dall'angolo (OEO') che il raggio emergente forma con l'incidente e che chiamasi *l'angolo di deviazione* od anche *la deviazione*.

Si immagini che l'angolo rifrangente di un prisma vada crescendo, tenendo fisso il lato AB e facendo girare il lato AC intorno al punto A ; allora i raggi entrati per una faccia cadono sull'altra faccia di uscita con un angolo d'incidenza che si fa più e più grande, e dee succedere che a un certo segno i raggi non possano più uscire qualunque sia l'angolo di loro incidenza sul prisma, ma subiscano la riflessione totale. Questo accade quando l'angolo rifrangente uguaglia il doppio dell'angolo limite corrispondente alla sostanza del prisma (§ 362). Per tale angolo rifrangente, e per ogni altro maggiore, non può più darsi emergenza di raggi.

Quindi pel vetro il doppio dell'angolo limite sendo minore di 90° , non è possibile vedere gli oggetti attraverso un prisma di vetro il cui angolo rifrangente sia retto. Per l'acqua codesto doppio essendo maggiore di 98° , accadrà che, attraverso un prisma cavo pieno d'acqua il cui angolo rifrangente sia retto, si potranno vedere gli oggetti quando mandino raggi sul fianco del prisma dalla parte della base verso quella del vertice e sotto un angolo d'incidenza abbastanza grande.

§ 366. La deviazione che i raggi subiscono nell'attraversare un prisma varia al variare dell'angolo di loro incidenza sul prisma.

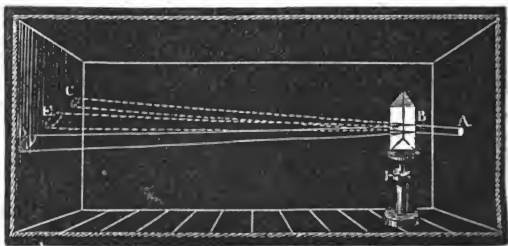


Fig. 336.

Difatti per un foro (A) dell'impоста entri liberamente in una camera oscura un pennello di raggi solari; esso vada per la sua via

retta a ferire (in C) sopra una parete o sopra uno schermo a qualche distanza dall'imposta. Si collochi presso il foro un prisma a ricevere il pennello, in guisa che l'asse del prisma sia perpendicolare alla direzione dei raggi: allora la luce esce dal prisma deviata verso la base di questo, e così va a battere in un luogo (D) della parete che è discosto dal primo. Si faccia girare il prisma intorno al proprio asse, onde venga a variare l'incidenza dei raggi sul fianco del prisma, e si vedrà che l'immagine dipinta dalla luce rifratta cangia di luogo sulla parete, mostrando con ciò che la deviazione dei raggi non si mantiene costante. Se il prisma si va girando in modo che l'angolo d'incidenza, supposto massimo in principio, diminuisca, l'immagine rifratta viene avvicinandosi al sito (C) dell'immagine diretta, e arriva ad una certa posizione (E), oltre la quale non progredisce e nella quale anzi rimane sensibilmente stazionaria per un poco, mentre si continua la rotazione del prisma pel medesimo verso. Nel moto successivo del prisma poi l'immagine torna indietro. Vi è dunque una deviazione (EBC) minore di tutte le altre, una *deviazione minima*. Questo fatto si riscontra pure nel guardare gli oggetti attraverso di un prisma che si vada girando intorno di un asse.

Torna utile qualche volta di misurare con esattezza l'angolo di deviazione minima per un dato prisma. Ecco il modo. Si dispone il prisma (EI) verticalmente, e si che si possa farlo girare intorno al suo asse; a poca distanza nel piano di una sezione principale si colloca orizzontale un cerchio graduato, rasente cui possa muoversi un cannocchiale a guisa di diametro intorno al centro (D). Si volge

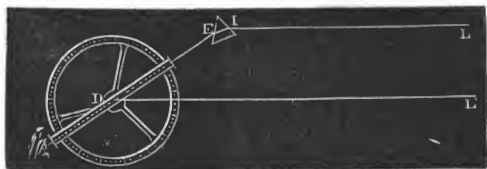


Fig. 337.

prima il cannocchiale ad un oggetto lontanissimo (L) e si nota sul cerchio il grado che risponde alla visuale (DL); poi lo si volge al prisma a vedervi per rifrazione l'immagine di quell'oggetto stesso. Il prisma si fa girare intorno all'asse e intanto si muove pure il cannocchiale, cosicchè accompagni l'immagine. È chiaro che per ogni posizione del prisma l'angolo di deviazione eguaglia l'angolo formato dalla prima visuale (DL) all'oggetto e dalla visuale (DE) alla im-

magine; perciocchè, attesa la distanza grandissima dell'oggetto, i raggi (LD, LI) che questo manda al cannocchiale e al prisma vicino, possono ritenersi paralleli. Bastano pochi tentativi a trovare la deviazione minima, il cui valore (LDE) si legge subito sul cerchio.

§ 367. Tra l'angolo rifrangente A del prisma, la deviazione minima D, e l'indice di rifrazione n della sostanza, di cui il prisma è fatto, sussiste la seguente relazione:

$$(176) \quad n \sin \frac{1}{2} A = \sin \frac{1}{2} (A + D).$$

Siffatta relazione fu proposta da Newton per cercare l'indice di rifrazione di una sostanza solida. Si taglia dunque in forma di prisma triangolare un pezzo di quella sostanza solida, si misura l'angolo rifrangente A del prisma, si misura l'angolo di deviazione minima D (pag. 685), e, posti nella formola i valori trovati, se ne ha il valore n .

Biot estese il metodo di Newton ai liquidi, operando con un prisma (PQ) di vetro, attraverso il quale vi è una cavità cilindrica (O) dalla

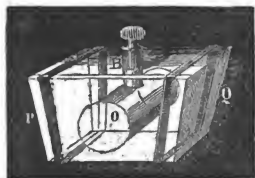


Fig. 338.

faccia d'incidenza a quella di emergenza, chiusa ad ambo i capi con due lamine di vetro a superficie piane parallele aderenti ai fianchi del prisma. La sostanza liquida si introduce ad empire la cavità per un foro superiore (B) che si chiude poi con un turacciolo smerigliato. La deviazione del raggio, che attraversa il prisma, è dovuta per intero al liquido contenuto se le lamine di vetro hanno superficie esat-

tamente piane e parallele, giacchè lamine così fatte non inducono deviazione (§ 364).

Biot ed Arago ricercarono col medesimo metodo anche l'indice di rifrazione dei gas. L'apparecchio è un tubo robusto di vetro (AB), tagliato obliquamente ai due capi ed ivi chiuso da due lamine di vetro a faccie parallele. L'angolo delle due superficie di sezione e però delle lamine applicate ad esse è grande assai, circa 143° , affinchè riesca bene pronunciato l'effetto della deviazione del raggio che trapassa. Il tubo ha nel mezzo due aperture, l'una in alto che comunica con una stretta campana (H) contenente un barometro a sifone il quale misura la forza espansiva del gas imprigionato, l'altra al basso da cui move un condotto, munito di chiave, il quale serve a mettere in comunicazione il tubo o con la macchina pneumatica, o con recipienti di gas.

Invece di misurare la deviazione che riceve la luce nel passare dal vuoto al gas che sia chiuso nel tubo prismatico, torna più comodo misurare la deviazione che riceve la luce nel passare dall'aria

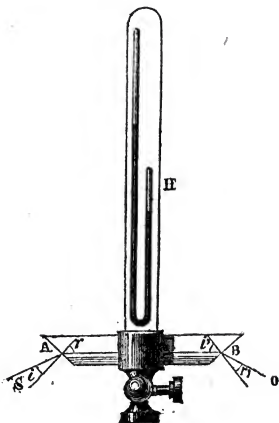


Fig. 339.

al detto gas. Perciò, dicasi m l'indice di rifrazione dell'aria rispetto al vuoto, m' l'indice di rifrazione del gas chiuso pure rispetto al vuoto, e sia n l'indice di rifrazione di questo gas per l'aria: si ha

$n = \frac{m'}{m}$ (§ 364), onde la formola (176) diventa:

$$(177) \quad \frac{m'}{m} \sin \frac{1}{2} A = \sin \frac{1}{2} (A + D).$$

Se il mezzo interno è più rifrangente dell'esterno, D è positiva; ma se è meno rifrangente, D è negativa, perchè la deviazione segue dalla parte del vertice del prisma, e non da quella della base.

Ecco ora come può ottenersi l'indice di rifrazione dell'aria atmosferica. Si fa il vuoto nel prisma e si misura la deviazione minima che la luce ne riceve, poi si pongono nella formola i valori di A e D , e vi si fa $m' = 1$ perchè in questo caso il mezzo interno è il vuoto, e non essendovi rifrazione da vuoto a vuoto, l'indice m' diventa l'unità. Il valore di m così ottenuto è l'indice di rifrazione dell'aria

rispetto al vuoto. Dalle esperienze di Biot ed Arago risulta che il valore di questo indice per l'aria a 0° e sotto la pressione 0^m, 76 è 1,000294.

Volendosi invece l'indice di rifrazione di un altro gas, si fa ancora il vuoto nel tubo, vi si introduce di questo gas, e si misura la deviazione minima che ne riceve la luce passatavi dall'aria esterna. Son noti così i valori di A, D, e, per l'esperimento anteriore, anche di *m*, i quali posti nella formola (177) danno il valore di *m'*. È evidente che in questo modo si può trovare l'indice di rifrazione anche per due mezzi diversi non di natura, ma solo di densità; a cagion d'esempio per l'aria densa e l'aria rarefatta.

L'indice di rifrazione varia con la temperatura non solo nei gas, ma anche un poco nei solidi, e molto sensibilmente nei liquidi.

Ecco i valori degli indici di rifrazione per alcune sostanze rispetto all'aria, in corrispondenza però ai raggi gialli dello spettro.

Solidi e liquidi.

Cromato di piombo	2,50 a 2,97	Vetro comune	1,550
Diamante	2,47 a 2,75	Crown-glass	1,530
Fosforo	2,224	Olio di ulive	1,470
Solfo fuso	2,148	Acido solforico	1,440
Rubino	1,779	Alcole	1,377
Solfuro di carbonio.	1,678	Etere.	1,358
Flint-glass.	1,57 a 1,58	Acqua	1,336
Sal gemma.	1,545	Ghiaccio.	1,310

Gas a 0° ed alla pressione di 0^m, 76.

Etere muriatico	1,001095	Ossido di carbonio.	1,000340
Cianogeno	1,000834	Azoto	1,000300
Cloro	1,000772	Aria atmosferica	1,000294
Acido solforoso	1,000665	Ossigeno	1,000272
Acido carbonico	1,000449	Idrogeno	1,000138
Gas ammoniac	1,000385		

§ 368. Nella teoria matematica della luce si dimostra che l'indice di rifrazione per due mezzi è eguale al rapporto diretto delle velocità con che la luce si propaga nei due mezzi, le quali velocità dipendono dalla natura e dallo stato fisico di questi. Ne segue che la luce deve propagarsi tanto meno veloce nei mezzi, quanto più sono essi rifrangenti; e più veloce nel vuoto che in ogni sostanza diafana:

tale conseguenza venne d'altronde provata (pag. 600). Dunque detta u la velocità della luce nel vuoto, e v la velocità sua in una sostanza diafana, l'indice assoluto n sarà eguale ad $\frac{u}{v}$. Se ora si immagina che un mobile segua la stessa via della luce e vi riceva le medesime variazioni di velocità, esso nel passare dal vuoto nella sostanza diafana farà una perdita di forza viva; e il rapporto tra la forza viva perduta e quella conservata sarà:

$$(u^2 - v^2) : v^2,$$

ovvero dividendo per v^2 :

$$(n^2 - 1) : 1.$$

Questo rapporto $(n^2 - 1)$ fu detto *potenza rifrattiva* della sostanza, giacchè rappresenta il grado d'azione che la sostanza esercita sulla luce che la attraversa. È chiaro che la potenza rifrattiva è tanto più grande quanto più l'indice principale n differisce dall'unità. Ella sarebbe nulla se l'indice n fosse eguale a 1, cioè se la sostanza non facesse deviare punto la luce che vi entra dal vuoto. Col mezzo degli indici di rifrazione delle varie sostanze si ponno subito avere le potenze rifrattive di esse. Quella dell'aria atmosferica a 0° e sotto la pressione di 0^m, 76 è 0,000589.

Biot e Arago trovarono che la potenza rifrattiva di uno stesso gas sotto diverse pressioni è proporzionale alla densità sua o alla sua tensione. Questa legge suggerì a Dulong un metodo, capace di molta esattezza, per determinare direttamente le potenze rifrattive dei gas. Si accresce o si diminuisce la densità dei diversi gas finchè facciano deviare la luce tanto quanto fa l'aria ad una certa densità, cioè abbiano la stessa potenza rifrattiva di quell'aria, e allora si misura la tensione e la densità di essi. Quindi con una semplice proporzione si ottiene il rapporto delle potenze rifrattive dei gas a pari tensione, cioè sotto una medesima pressione. In tali esperimenti non si fa la correzione per l'imperfetto parallelismo delle faccie dei vetri, giacchè la deviazione che ne conseguita non influisce nel risultato.

Dalla notizia della potenza rifrattiva di un gas si può passare a quella del suo indice di rifrazione; basta estrarre la radice quadrata dalla potenza rifrattiva accresciuta di una unità.

Le molte esperienze di Dulong certificarono che la potenza rifrattiva di una miscela di più gas è eguale alla somma delle potenze rifrattive dei gas mescolati.

§ 369. Quando la superficie divisoria di due mezzi diafani è sferica, i raggi di luce, partiti da uno stesso punto posto in uno di questi mezzi e poco inclinati tra loro, concorrono dopo la rifrazione sensi-

bilmente (non con esattezza geometrica) in uno stesso punto dell'altro mezzo, cioè formano un fuoco.

Questo fuoco e il punto raggianti, detto fuoco anch'esso per estensione, sono *fuochi coniugati* (§ 357): cioè se il punto raggiante si colloca nel secondo mezzo al sito del fuoco, i raggi vanno a formare un fuoco nell'altro mezzo, proprio là dove prima era collocato il punto luminoso. Ciò è evidente per la terza legge della rifrazione (§ 360).

Lenti.

§ 370. Si chiama *lente* un disco di sostanza diafana limitato da due facce od ambedue curve, o l'una curva e l'altra piana. D'ordinario le lenti sono di vetro e, per facilità di costruzione, a curvature sferiche. Combinando le superficie sferiche sia tra loro, sia con superficie piane, si possono formare sei specie di lenti: la lente *biconvessa* (profilo A), terminata da due superficie sferiche convesse verso l'esterno; la *piano-convessa* (B) a superficie convessa

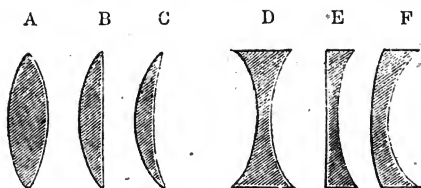


Fig. 340.

da una parte e piana dall'altra; la *concavo-convessa*, detta anche *menisco* (C), la cui superficie è convessa da una parte e concava dall'altra, ma a curvatura più forte dalla parte della convessità; la *biconcava* (D), a due superficie sferiche concave verso l'esterno; la *piano-concava* (E); la *convesso-concava* (F), nella quale la superficie concava ha curvatura più pronunciata che la convessa.

La retta indefinita condotta per i due centri di curvatura delle due superficie sferiche di una lente si chiama *asse principale* di questa, o soltanto *asse*. Quando la superficie della lente da una parte è piana, l'asse è la perpendicolare indefinita condotta dal centro di curvatura della superficie sferica alla superficie piana.

Prendiamo in esame l'andamento dei raggi rifratti dalle lenti, nel caso che l'origine dei raggi sia sull'asse principale.

a) Vi sia sull'asse principale di una lente biconvessa un punto lu-

minoso (L), a buona distanza dalla lente, cosicchè mandi su questa raggi di luce poco inclinati rispetto all'asse principale; dopo la rifrazione i raggi formano sensibilmente il fuoco in un punto (I) dell'asse medesimo.

b) Il punto luminoso e il suo fuoco sono *fuochi coniugati*.

c) Il fuoco (F) dei raggi paralleli tra loro, quali sarebbero se venissero da un punto dell'asse ad infinita distanza, forma il *primo fuoco*

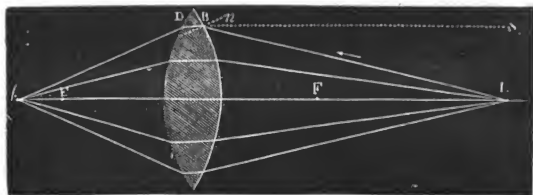


Fig. 341.

principale della lente o *fuoco principale posteriore*, se per convenzione si suppone di ricevere i raggi luminosi sempre dalla parte del punto L. La sua distanza (FA) dalla lente dicesi *prima distanza focale* della lente.

d) Se il punto luminoso si avvicina alla lente, il suo fuoco coniugato si allontana dall'altra parte. Vi è una posizione sull'asse principale anteriore alla lente, dove ponendo il punto luminoso, i raggi emergenti che vi corrispondono sono paralleli e formano perciò il

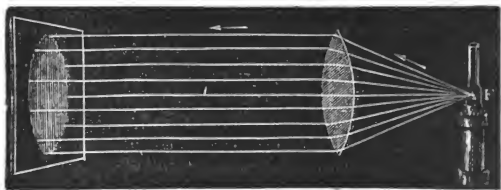


Fig. 342.

fuoco coniugato a distanza infinita. Quel luogo costituisce il *fuoco principale secondo o anteriore*; e dicesi *distanza focale anteriore* la sua distanza dalla lente. Se dalle due parti della lente v'è un mezzo identico (d'ordinario è l'aria), le due distanze focali sono eguali.

e) Se la distanza del punto luminoso (L) dalla lente supera la distanza

focale anteriore, i raggi rifratti convergono a formare un fuoco reale (I). Questo pure dista dalla lente più che non il fuoco principale

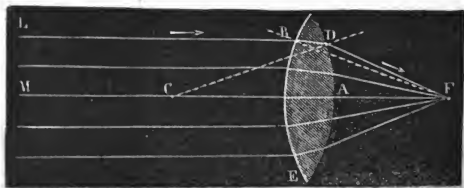


Fig. 343.

(F), giacchè per un raggio incidente qualunque (LB) l'angolo d'incidenza (LBn) è maggiore dell'angolo d'incidenza (SBn) che farebbe un raggio (SB) parallelo all'asse ed incidente allo stesso punto (B), e però il raggio rifratto, che corrisponde al primo raggio, converge all'asse meno rapido di quello che corrisponde al secondo, e taglia l'asse a maggiore distanza dalla lente.

f) Se la distanza del punto luminoso dalla lente è minore della distanza focale, i raggi rifratti riescono divergenti e però il loro fuoco è virtuale. E invero qualunque raggio incidente (LI) fa un angolo

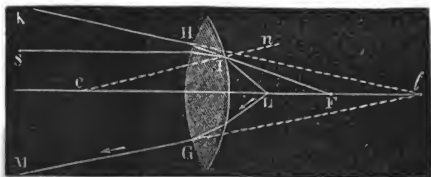


Fig. 344.

d'incidenza ($LI n$) maggiore di quello ($FI n$) che fa un raggio incidente allo stesso punto (I), ma partito dal fuoco principale anteriore (F); dunque, dopo la rifrazione deve quel raggio scostarsi dall'asse più che non questo, e poichè questo emerge parallelo all'asse, quello deve emergere divergente dall'asse. Così il fascio rifratto sarà di raggi divergenti, i quali non possono dare un fuoco reale, bensì i loro prolungamenti collimano a un punto (I) dell'asse che è un fuoco virtuale.

g) I raggi di un punto luminoso rifratti attraverso una lente biconcava, sono sempre divergenti: per lenti di tal fatta dunque i fuochi principali e il fuoco conjugato (I) sono sempre virtuali.

Se il punto è ad infinita distanza, i raggi incidenti sono paralleli all'asse. Uno qualunque di essi (SI) nel rifrangersi al punto d'incidenza (I) si avvicina alla normale corrispondente (CI), e nel rifran-

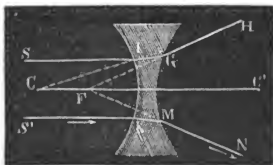


Fig. 345.

gersi al punto di emergenza (G) si allontana dalla normale corrispondente (C'G). Ma con ciò, per la inversa direzione delle due normali, esso piegasi due volte in quel medesimo senso che lo fa divergere dall'asse (CC'). I raggi dopo attraversata la lente, formano dunque un fascio divergente (GHMN), e però il fuoco principale (F) è virtuale.

Se i raggi incidenti partono da un punto (L) dell'asse a distanza finita dalla lente, si vede, per una costruzione simile a quest'ulti-

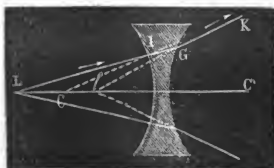


Fig. 346.

ma, che il fuoco coniugato è virtuale e cade (in l più vicino alla lente che non il fuoco principale).

§ 371. Nell'interno di una lente, sul di lei asse principale, esiste tal punto, passando pel quale ogni raggio di luce non subisce deviazione angolare ed emerge dalla lente in direzione parallela alla direzione di sua incidenza. Tale punto dicesi *centro ottico* della lente. Per la poca grossezza della lente si può ritenere che ogni raggio luminoso, il quale prima di entrare nella lente sia diretto verso il centro ottico, emerga secondo il prolungamento del raggio incidente, cioè senza deviare.

Ogni retta che passi pel centro ottico senza passare per i centri di

curvatura si dice *asse secondario*. Per la poca grossezza della lente si può dunque ritenere che ogni asse secondario rappresenti un raggio di luce che passi per il centro ottico.

I raggi che partono da un punto luminoso (P), il quale sia a piccola distanza dall'asse principale, cioè su di un asse secondario

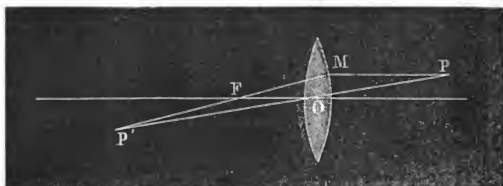


Fig. 347.

(POP') inclinato di poco al principale, dopo rifratti, convergono essi pure sensibilmente in un medesimo punto (P') di codesto asse secondario, formandovi un fuoco.

Il fuoco si trova facilmente perchè cade nel punto in cui si incrociano due raggi rifratti corrispondenti a due raggi incidenti, quali si vogliano, partiti dal punto P. Così tirato l'asse secondario (POP') che rappresenta un raggio, e tracciato un altro raggio (PM) parallelo all'asse principale, tale che rifratto passi pel fuoco principale (F), il punto d'incontro (P') dei due raggi sarà il fuoco coniugato di P.

Il punto luminoso (P) e il fuoco (P') hanno la medesima correlazione di distanze che se fossero sull'asse principale.

Vi sia dinanzi ad una lente un oggetto di qualche estensione, ma così piccolo e così lontano, che le distanze de' vari suoi punti dal centro ottico differiscano pochissimo l'una dall'altra. Ogni singolo punto dell'oggetto manda raggi di luce che, dopo rifratti, concorrono nello stesso punto situato sull'asse corrispondente, formandovi un fuoco, immagine del punto obbiettivo. I rapporti fra le distanze dal centro ottico e dall'asse principale, sono eguali per ciascun punto dell'oggetto e la sua immagine; perciò le varie immagini dei punti costituiscono, nel loro insieme, una immagine fedele dell'oggetto.

§ 372. Le cose dette di sopra intorno ai fuochi dimostrano quale sarà nei diversi casi la natura della immagine (se reale o virtuale), il sito, la disposizione (se diritta o capovolta) e la grandezza sua.

1.^o La lente sia biconvessa e l'oggetto (AB) si trovi molto lontano dalla lente, l'immagine (ab) sarà reale, poco al di là del fuoco prin-

cipale, capovolta e piccolissima. Se l'oggetto si avvicina alla lente, l'immagine se ne allontana. resta sempre capovolta ed ingrandita.

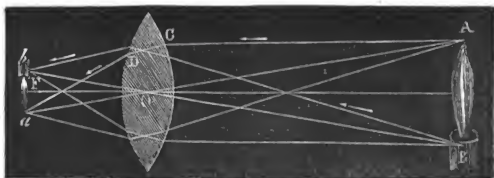


Fig. 348.

Essa diventa eguale in grandezza all'oggetto quando la distanza di questo dalla lente è doppia della distanza focale; si fa più grande se l'oggetto si avvicina di più scompare quando l'oggetto è al fuoco principale. Queste condizioni della immagine reale possono verificarsi col ricevere sopra uno schermo l'immagine ben netta della fiamma di una candela che si collochi a diverse distanze al di là d'una lente biconvessa.

2.° Se l'oggetto (AB) è tra il fuoco principale e la lente, l'immagine (ab) è virtuale. E invero se da un punto (A) dell'oggetto si guida l'asse secondario (AO), che rappresenta un raggio, e si guida anche un altro raggio qualsivoglia (AC), si trova che i due raggi emergono dalla lente divergenti; essi dunque non si riuniscono, bensì i loro prolungamenti (Oa Da) si raggiungono in un punto dalla banda della lente ov'è l'oggetto. L'immagine dunque è virtuale ed è diritta e

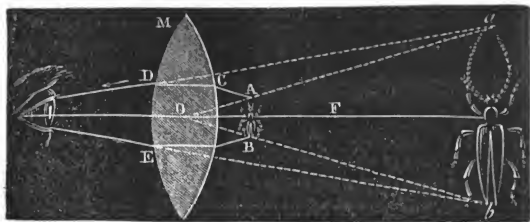


Fig. 349.

sempre più grande dell'oggetto. Perciò essa non può disegnarsi in uno schermo, ma può essere veduta da un occhio situato dall'altra parte della lente ad accogliere i raggi rifratti.

3.° Attraverso di una lente biconcava si vede l'oggetto (AB) trasformato in una immagine virtuale (ab), diritta e più piccola di esso.

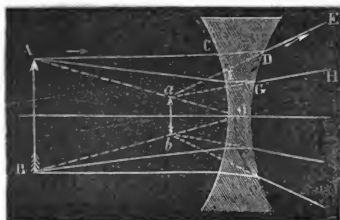


Fig. 350.

Per trovare il fuoco principale di una lente biconvessa basta esporla ai raggi del sole, o ai raggi di una luce artificiale molto distante, in modo che vi cadano paralleli all'asse principale, e cercare con uno schermo il luogo a cui concorrono i raggi dopo la rifrazione. Questo luogo è il fuoco principale, e la sua distanza dalla lente è la distanza focale.

Se la lente è biconcava, se ne copre una faccia con qualche sostanza opaca, lasciandone scoperte solo due piccole porzioni circolari (a , b),

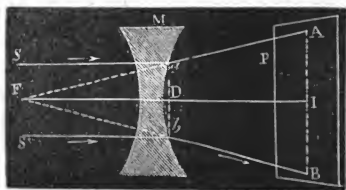


Fig. 351.

poi rivolta l'altra faccia della lente a raggi di luce paralleli all'asse principale, si prende uno schermo piano e lo si reca perpendicolarmente all'asse a tagliare i fascetti che passano per le piccole porzioni scoperte, e si trova, tentando, quella posizione (P) dello schermo in cui le immagini che dipingono i due fascetti distano l'una dall'altra d'un tratto (AB) doppio di quello (a , b) di cui distano sulla lente le due porzioni che danno adito ai fascetti. La distanza (DI) che ha allora lo schermo dalla lente eguaglia la distanza focale della lente.

Analisi della luce.

§ 373. *La luce del sole, che ci appar bianca, non è omogenea, ma costituita di raggi diversamente rifrangibili e diversamente colorati.*

In una camera oscura entri per un foro circolare (S) della imposta un fascetto cilindrico di raggi solari, il quale attraversi, poco al di qua del foro, un prisma triangolare (P) di cristallo ben puro, dispo-

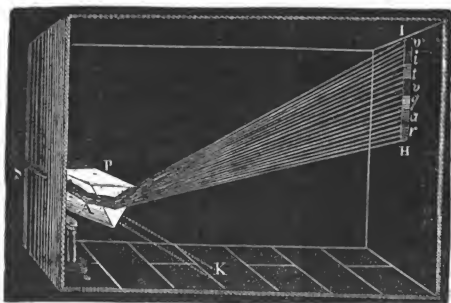


Fig. 352.

sto in guisa che il suo asse sia perpendicolare alla direzione del fascetto. I raggi, emergendo dal prisma piegati verso la base di questo (§ 365), danno l'immagine HI in punti più elevati sopra un piano diretto normalmente al fascio rifratto. Essa è molto allungata nel verso del piegamento dei raggi, ed è dipinta vivamente di tutta la serie dei colori dell'iride. La sua larghezza eguaglia il diametro che avrebbe l'immagine bianca, le due estremità sono a semicircolo e i limiti lungo i lati sono due rette parallele.

L'aspetto di questa immagine, data da raggi che vengono da un corpo rotondo qual è il sole, ci fa pensare ch'ella sia formata d'una infinità di immagini tutte circolari (§ 349), aventi ciascuna un colore proprio, e sovrapponentisi più insieme in ogni luogo, sì da fondersi in una tinta gradatamente variata da un capo all'altro. L'allungamento della immagine fa manifesto che i raggi del fascetto sono diversamente rifrangibili, perchè, se non fossero tali, emergerebbero tutti paralleli tra loro, essendo eguale per tutti l'angolo d'in-

cidenza sulla faccia del prisma. La colorazione della immagine poi dimostra che i raggi diversamente rifrangibili sono anche diversamente colorati.

La immagine oblunga e variopinta si dice *spettro solare*. L'allungamento suo varia al variare dell'angolo rifrangente e della sostanza del prisma. Affinchè lo spettro riesca splendido dei colori più vivaci, l'apertura che dà adito ai raggi vuole essere assai ristretta nella direzione perpendicolare allo spigolo del prisma, l'angolo rifrangente del prisma di cristallo di circa 60° , la deviazione la minima, e il piano, su cui si riceve lo spettro, distante da 5 a 6 metri dal prisma.

Newton, a cui si deve questo bell'esperimento, distinse nella serie dei colori dello spettro solare sette colori principali, quali sono, nell'ordine della crescente rifrangibilità dei raggi rispettivi: rosso, aranciato, giallo, verde, azzurro o turchino, indaco, e violetto o pavonazzo. Ma invero i colori dello spettro sono in numero indefinibile, poichè le tinte appaiono succedersi senza linee spiccate di divisione e per sfumature continue. Le singole particolari tinte di questa serie si chiamano i *colori prismatici*.

I raggi d'un colore prismatico qualunque non si lasciano scomporre per successive rifrazioni in raggi d'altri colori. Nello spettro dato da un sottilissimo fascetto si isolino i raggi di un colore, arrestando gli altri con uno schermo (E), ed i primi si facciano passare attraverso un secondo prisma (B). Essi rifrangonsi di nuovo,

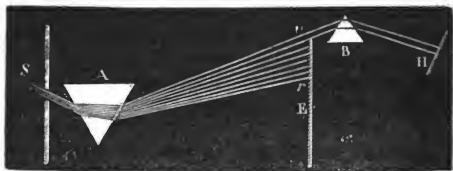


Fig. 353.

ma stanno uniti senza sparpagliarsi, e serbano inalterato il primo colore nella immagine che dipingono su d'uno schermo (H) lontano.

Una esperienza che dimostra questa proprietà per tutti i raggi dello spettro solare, e insieme conferma la legge che la rifrangibilità dei raggi cresce nell'ordine che si disse, dai rossi ai violetti, è quest'altra dei prismi incrociati di Newton. Un prisma (A) orizzontale rifrangendo un pennello di raggi solari, dà uno spettro verticale (Rv). Dietro questo prisma, i raggi emergenti son ricevuti da altro prisma verticale (B), e allora si vede che lo spettro è deviato di

fianco in R/v' per effetto di questa seconda rifrazione. Però non vi si scorge nè dilatazione, nè scomposizione di colori nel verso della nuova rifrazione; ogni tinta si mantiene la stessa in ciascuna linea

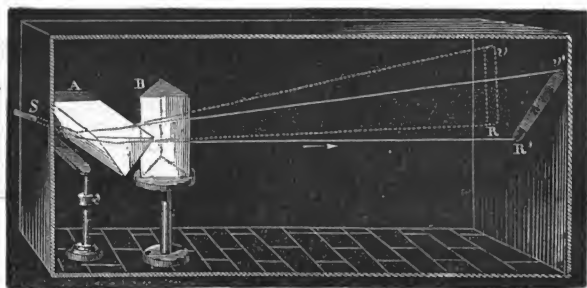


Fig. 354.

orizzontale; bensì lo spettro non è più verticale, ma inclinato, e l'estremità rossa è la meno lontana dal luogo del primo spettro, la violetta la più lontana, dunque i raggi a diverso colore hanno rinfrangibilità crescente dal rosso al violetto.

I raggi d'un dato colore prismatico non apparendo decomponibili si ritiene che *la rifrangibilità diversa sia una proprietà inerente ai diversi raggi (a).*

§ 374. Newton, dimostrata la composizione della luce bianca del sole mercé l'analisi, la dimostrò pure con la sintesi. Egli riunendo insieme le luci diversamente colorate, nella proporzione che tengono nello spettro solare, ricompose la luce bianca per diversi modi.

1.º Rifratto con un prisma un pennello di luce, se ne riceve lo spettro, i cui colori siano già separati, sopra un secondo prisma uguale al primo nella sostanza e nell'angolo rifrangente, ma disposto in modo inverso. Il secondo prisma, con una rifrazione ed una dispersione inversa, riduce paralleli tra loro i raggi dello spettro



Fig. 355.

(a) Qualora si ammetta, come diremo meglio innanzi, la luce non esser altro che un moto vibratorio suscitato da un corpo luminoso nel mezzo etereo che avvolge l'universo e dal mezzo stesso comunicato al nostro organo della vista, si può ritenere che ogni raggio avente un particolar grado di refrangibilità, e

formato dal primo e li ravvia tutti insieme in un fascetto (E) che dà una immagine bianca.

2.^o Si manda lo spettro su di una lente di convergenza e al fuoco s'ha una immagine bianca, un po' colorata all'ingiro perchè i raggi

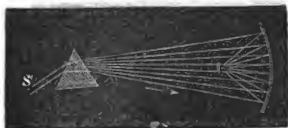


Fig. 356.

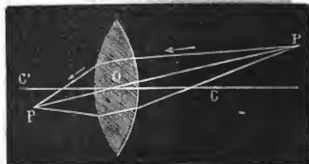


Fig. 357.

diversamente rifrangibili non hanno proprio il fuoco alla medesima distanza dalla lente.

3.^o Si fa cadere lo spettro su di un grande specchio concavo. Tutti i raggi colorati dopo la riflessione convergono al fuoco, e là fanno un'immagine che ricevuta su d'un piccolo schermo bianco, appare bianchissima.

Se al fuoco si mette un piccolo specchio metallico, la luce che vi cade è bianca, quale era già sullo schermo; eppure si trova che l'immagine riflessa è uno spettro. Ciò dimostra che i diversi raggi, incrociandosi nel fuoco a darvi la immagine bianca, vi serbano tutti la loro propria qualità, e non si modificano l'un l'altro.

Nella luce, che diciamo *bianca*, vi sono dunque tutti i raggi diversamente colorati che lo spettro ci mette sott'occhio distinti, e ciascun raggio vi mantiene le proprietà sue. Le impressioni che fanno tutti insieme quei raggi diversi coesistenti compongono una impressione che è per noi la impressione del bianco.

Se pur quei raggi diversi non fossero coesistenti nel medesimo spazio, ma si succedessero tutti in ogni punto di un certo spazio in meno che non dura la permanenza della impressione sull'occhio (§ 351.5^a), noi guardando a quello spazio lo vedremmo bianco.

4.^o Prendasi un disco di cartone del diametro di circa 3 decimetri con piccolo foro al centro e con due zone circolari dipinte in nero, l'una presso il centro, l'altra presso il contorno. Sulla parte an-

quindi un particolar colorito, corrisponda ad una particolar onda luminosa, la quale compie le sue escursioni vibratorie con una determinata ampiezza e con un determinato grado di velocità, tanto che nell'unità di tempo essa vada facendo un determinato numero di vibrazioni.

lare, tra le due zone, si applicano a coprirla molte listerelle di carta in forma di settori, diversamente colorate ed estese nell'ordine e nella proporzione che verificasi nei diversi colori dello spettro. Facendo

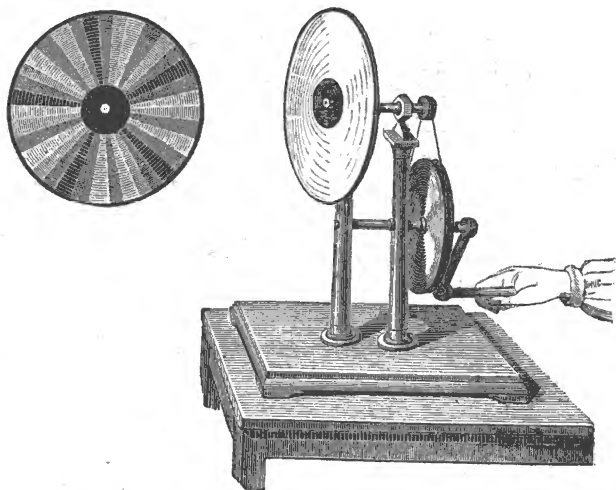


Fig. 358.

rapidamente girare codesto disco attorno al suo centro, le tinte delle listerelle scompaiono all'occhio e lo spazio tra le zone oscure si vede bianco.

§ 375. Siccome a produrre la luce bianca ci vogliono tutti i colori semplici, riuniti nella proporzione in cui sono nello spettro, così ad alterare la bianchezza della luce basta escludere dalla riunione uno dei colori semplici, od anche solo cangiarvi la proporzione sua cogli altri. Sopprimendo il rosso nello spettro e componendo tutti gli altri colori, si ottiene una tinta cerulea, e questa unita al rosso produce il bianco.

Due colori che, uniti assieme, producono il bianco son detti *complementari* l'uno dell'altro. Ogni colore ha il suo complementario, quello cioè che risulta dall'unione di tutti gli altri colori, i quali insieme col dato entrano a costituire il bianco. Diviso lo spettro in due parti qualunque con una sezione trasversale, il colore composto di tutte

le tinte da una parte, e quello composto di tutte le tinte dall'altra sono complementari tra loro. Quindi è manifesto che sonvi innumerevoli coppie di colori complementari.

Quando la luce attraversa obliqua dei mezzi terminati da facce piane parallele, quali sono i vetri delle finestre, si decompone nella entrata nel mezzo, procede in questo decomposta, e si compone all'uscita. Qui i raggi diversamente colorati che provengono dai raggi bianchi incidenti contigui si sovrappongono in guisa da riprodurre la luce bianca.

Da tali ricomposizioni dipende pure che in certi casi, guardando un oggetto bianco attraverso di un prisma, se ne veda una parte con la sua bianchezza inalterata. Una lista di carta bianca in campo nero, osservata attraverso di un prisma che le sia parallelo, apparisce tutta dipinta di colori prismatici se è molto stretta; ma se è larga qualche centimetro, la si vede colorata solo sui lati paralleli al prisma, e bianca nel mezzo. Perciocchè quella lista, essendo come formata di molte e molte listarelle contigue, dà moltissimi piccoli spettri, tutti disposti nel medesimo ordine, i quali, sovrapponendosi parzialmente, compongono la luce bianca nel mezzo.

Righe degli spettri.

§ 319. Nello spettro solare venne prima notato da Wollaston, e studiato poi da Fraunhofer un fatto molto importante, il quale può riprodursi così. I raggi del sole, riflessi da uno specchio piano, entrino orizzontali in una camera buia per una strettissima fessura verticale; si collochi a riceverli un buon prisma verticale, così disposto che la deviazione dei raggi rifratti sia la minima. A contatto della faccia di emergenza del prisma si ponga una lente biconvessa, di fuoco piuttosto lungo e possibilmente acromatica. Questo sistema di prisma e lente si allontani dalla fessura circa il doppio della distanza focale della lente. Poi si mova lungo l'asse della lente uno schermo verticale, a superficie bianca e ben piana, a trovare quel luogo in cui lo spettro vi si dipinge sopra vivo e netto; quel luogo è fuoco conjugato della fessura, quale sarebbe veduta variopinta da un occhio messo dove è la lente a guardarla attraverso del prisma. Se invece della fessura nell'imposta, si prende come fonte di raggi la fessura di uno schermo collocato dietro il fuoco d'una lente cilindrica, lo spettro riesce più puro.

Ora ecco il fenomeno. Lo spettro rettangolare orizzontale apparisce segnato da una moltitudine di righe o strie verticali, più o meno oscure, sottilissime, sparse variamente nei diversi colori. Fraunhofer

ne contò 574; ne distinse 7, tra linee semplici e sistemi di righe, che sono delle più cospicue e distribuite fra i varii colori, e le designò

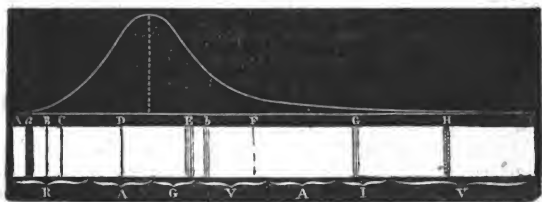


Fig. 359.

con le lettere B, C, D, E, F, G, H. Nella presente figura si vedono questi 7 sistemi con qualche altra linea. La estremità rossa dello spettro è un po' al di là di A, la violetta è vicino ad I, e l'una e l'altra non precise, ma evanescenti. D'ordinario lo spettro ben visibile ha i suoi termini, da una parte presso la riga B, dall'altra fra le righe G, H. A dargli lunghezza maggiore bisogna impiegare una luce solare molto intensa, ma le parti estreme sono sempre si fiocche di lume, che a poterle vedere bisogna impedire che giunga all'occhio la luce viva fra C e G.

Per numerare le righe ed accertarne la mutua posizione Fraunhofer collocò acconciamente a ricevere i raggi rifratti dal prisma un cannocchiale che, mosso in un piano orizzontale, mostrava successivamente con chiarezza tutte le parti dello spettro. Un cerchio graduato annesso al cannocchiale serviva a misurare per bene le rifrazioni dei diversi raggi emergenti dal prisma. Cimentando i raggi solari con prismi di sostanze diverse e d'angoli rifrangenti diversi, egli riconobbe che le righe sono sempre in egual numero, si succedono col medesimo ordine e cogli stessi colori, e trovansi ciascuna al medesimo sito nel suo colore.

Brewster trovò modo di vedere ancor meglio ingrandito lo spettro e di scorgervi un maggior numero di righe. Altri, obbligando il fascio luminoso a passare successivamente per tre, cinque, e fino nove prismi, ottennero di ampliare talmente lo spettro, da vedervi distinto un gran numero di righe non prima avvertite e da scomporne molte dianzi stimate semplici. Nell'insieme si contano nello spettro solare più di tremila righe.

Si chiamano *spettroscopj* i vari apparecchi che servono a studiare gli spettri delle diverse luci. I migliori sono costituiti da tre cannoc-

chiali, sistemati attorno un disco sul quale posa il sistema dei prismi rifrangenti, coi loro spigoli perpendicolari al piano comprendente gli assi ottici de' cannocchiali. Uno di questi riceve la luce da esaminare e la avvia a raggi paralleli su una faccia del primo prisma; un altro riceve la luce dispersa che esce dall'ultimo prisma, e con regolato movimento fa vedere ingrandite mano mano le varie zone dello spettro; il terzo cannocchiale, munito d'un micrometro, serve a proiettare l'immagine del micrometro stesso sullo spettro e quindi giova a determinare le distanze relative delle varie righe.

La luce riflessa dalla luna, da Venere, da altri pianeti, dà lo spettro con i medesimi colori e le medesime righe oscure che la luce diretta del sole. Non così le luci d'altra origine; gli spettri loro differiscono da quello della luce solare per il numero e la proporzione dei colori, per la quantità, la situazione e la qualità delle righe; in alcuni spettri le righe son chiare. D'ordinario la tinta che prevale in queste luci vedute ad occhio si trova che prevale anche nello spettro di esse.

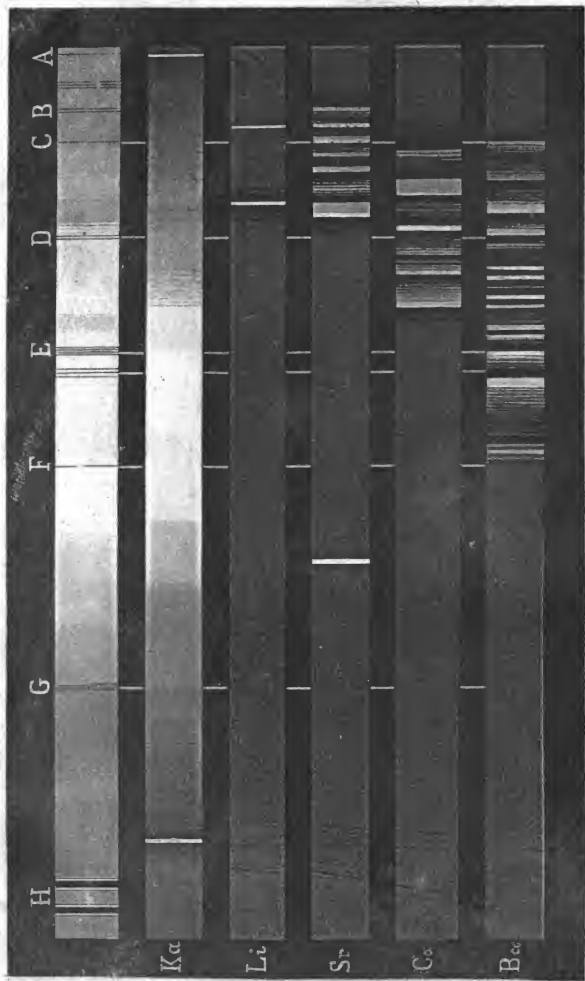
La luce delle diverse stelle di prima grandezza dà spettri con righe oscure diversamente distribuite; nello spettro di Sirio tre righe spiccano fra le altre, una nel verde e due nell'azzurro.

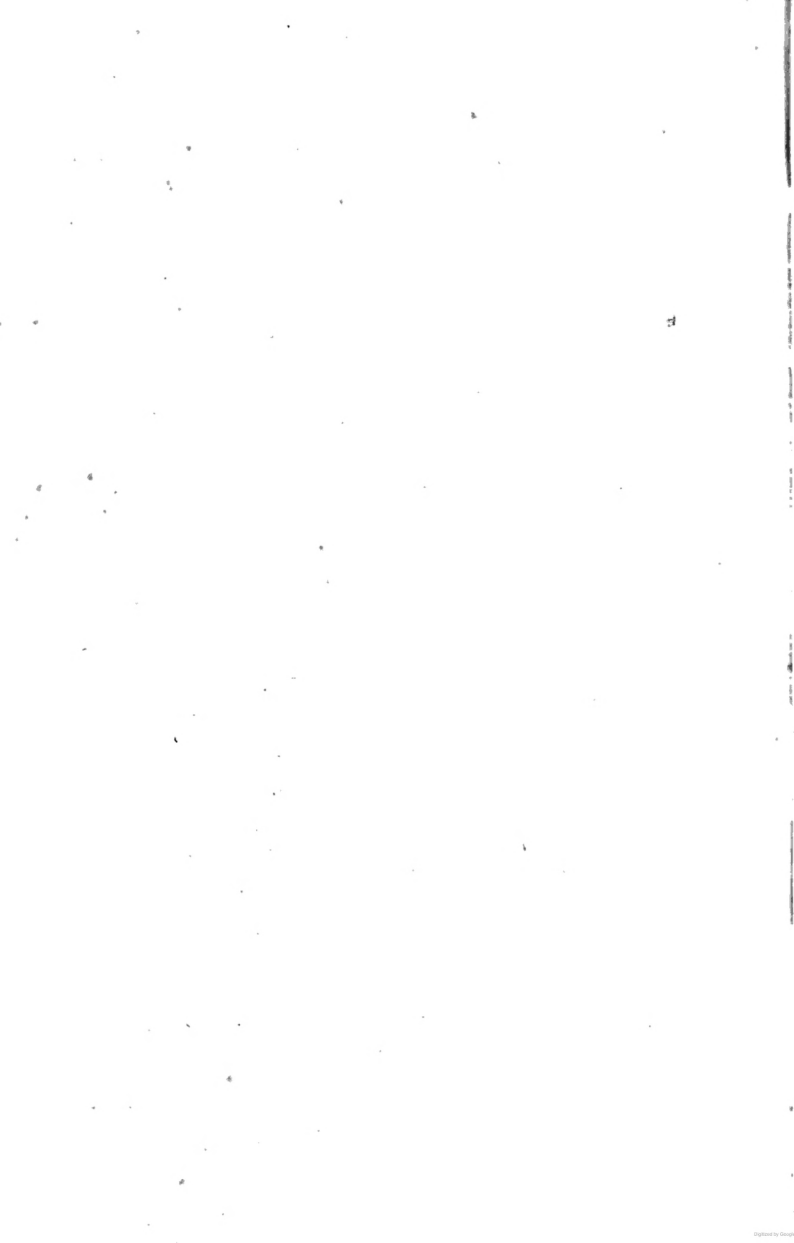
Nello spettro della luce elettrica non vi sono righe: in generale lo spettro della luce emessa dai corpi solidi incandescenti è continuo. Lo spettro della luce di lampada ha righe chiare. Brewster trovò questa proprietà anche nei raggi della fiamma gialla di una spugna che arde inzuppata d'alcole diluito con varie soluzioni saline: però i sali contenuti diversi metalli danno gruppi differenti di righe lucide. Negli spettri di queste fiamme diversamente colorate la tinta che prevale è la stessa che le colora.

Pertanto nella differenza delle righe v'è un bel carattere distintivo delle luci di origine diversa.

Valgano ad esempio gli spettri dei metalli degli alcali e delle terre alcaline, colle rispettive loro righe lucide, posti a confronto dello spettro della luce solare, in cui stanno segnati i principali gruppi di righe nere notati da Fraunhofer, come nella tavola qui unita.

Inoltre Brewster, Miller ed altri dimostrarono che si possono col l'arte produrre le righe oscure in uno spettro che non ne abbia, facendo o passare la luce per un mezzo assorbente. Lo spettro della luce di una candela o di una lampada, il quale, se la luce non attraversi che un breve spazio d'aria, manca di righe oscure, ne presenta poi molte quando la luce, o innanzi che cada sul prisma o dopo, si fa passare attraverso di un vaso che contenga vapori di iodio o di bromo, oppure del cloro.





È dunque probabile che nella luce solare le gradazioni di rifrangibilità dei raggi consecutivi dal rosso al violetto siano continue, senza salti, e che però nello spettro compariscano le righe oscure perché la luce, attraversando l'atmosfera del sole e del nostro globo, vi abbia smarrito propriamente i raggi di quei gradi di rifrangibilità che corrispondono alle posizioni diverse di quelle righe.

Questa deduzione venne ampiamente confermata dalle esperienze di Debray e di Kirchhoff e Bunsen. Debray osservò che la luce di Drummond (ottenuta col gettare su d'un pezzo di calce la fiamma data da due correnti di ossigeno ed idrogeno), la quale per sé non dà righe, né lucide né oscure, quando venga prima ad attraversare una fiamma a gas carica di cloruro di sodio, od una fiamma di alcole salato, manifesta una riga nera nel giallo, corrispondente alla riga lucida data dal sodio incandescente: Kirchhoff e Bunsen estesero di molto coteste indagini, fondando un nuovo ed importante mezzo d'analisi chimica.

Nello spettro solare colle righe oscure noi rileviamo, per così dire, rovesciate le righe lucide dei metalli che ardono nell'atmosfera solare. Così vi distinguiamo le righe dell'idrogeno, del sodio e dei metalli magnetici, ferro, cromo e nichelo. Invece in quell'atmosfera mancano i vapori d'argento, rame, zinco e piombo, non iscorgendosi nello spettro le righe corrispondenti.

§ 377. Siccome le righe serbano la stessa posizione relativa negli spazii colorati dello spettro solare, qualunque siano l'angolo e la sostanza del prisma, così esse valgono a designare in modo sicuro i diversi luoghi dello spettro, o i diversi raggi che battono presso quei luoghi, al che non varrebbero i limiti incerti dei colori. Perciò si è convenuto di misurare gli indici di rifrazione che corrispondono alle righe, onde servano di termini fissi a designare gli indici dei raggi diversi. Gli indici di rifrazione delle righe si trovano alla maniera che si disse (§ 367), col mezzo dell'angolo rifrangente del prisma e dell'angolo di deviazione minima. Per indice di una data riga poi si intende quello che avrebbero i raggi che cadessero sulla riga, il quale è intermedio di valore agli indici delle due tinte adiacenti.

Ecco in una tavola i valori trovati da Fraunhofer degli indici di rifrazione corrispondenti alle 7 righe distinte con le lettere B, C, D... per sostanze diverse, quali sono l'acqua, l'olio di trementina, il crown-glass (vetro nella cui composizione non entra piombo), il flint-glass (vetro con piombo).

SOSTANZE	INDICI DI RIFRAZIONE						
	B	C	D	E	F	G	H
Acqua	1,3309	1,3317	1,3336	1,3359	1,3378	1,3413	1,3442
Olio di trementina	1,4705	1,4715	1,4744	1,4784	1,4817	1,4882	1,4938
Crown glass	1,5258	1,5268	1,5296	1,5330	1,5361	1,5417	1,5466
Flint glass	1,6277	1,6297	1,6350	1,6420	1,6483	1,6603	1,6711

Si chiama *dispersione della luce* la dilatazione che un filo di luce acquista nello scomporsi quando passa da un mezzo in un altro. La grandezza della dispersione è dunque rappresentata dalla differenza tra gli indici di rifrazione corrispondenti ai raggi estremi dello spettro. Suolsi prendere come tale la differenza degli indici che corrispondono alle due righe fisse estreme B ed H, e la si chiama *coefficiente della dispersione totale*, o solo *coefficiente di dispersione*. La differenza tra gli indici che corrispondono alle altre righe, per esempio alle C ed E, dà la grandezza della dispersione dei raggi che cadono nella porzione da C ad E, cioè la grandezza di questa *dispersione parziale*.

Il coefficiente di dispersione cangia da una sostanza all'altra. La tavola precedente ci dice ch'esso è 0,0133 per l'acqua, 0,0233 per l'olio di trementina, 0,0208. per il crown, 0,0434 pel flint. I corpi che rifrangono molto la luce producono per lo più una dispersione grande, ma l'un effetto non è proporzionale all'altro: v'ha de' corpi che rifrangono la luce quasi egualmente e producono una dispersione diversa: per esempio il flint rifrange la luce poco più che il crown e produce una dispersione molto maggiore. Se si formano due prismi con angolo rifrangente uguale, l'uno di flint, l'altro di crown, quest'ultimo devia i raggi di rifrangibilità media (la riga E) quasi come il primo, ma dà uno spettro molto più breve.

La tavola suddetta dimostra pure, che, nelle diverse sostanze le differenze degli indici di rifrazione di due righe consecutive (dispersioni parziali) non serbano il medesimo rapporto del coefficiente di dispersione totale delle rispettive sostanze. Ne viene che gli spettri ottenuti, a condizioni pari, da prismi di sostanze diverse, non sono di eguale lunghezza, nè sono simili fra loro; giacchè nei varii spettri le parti occupate da una medesima tinta non serbano lo stesso rapporto con la lunghezza totale di essi. Se formansi gli spettri col mezzo di due prismi di angolo rifrangente eguale, ma di sostanze diverse, si trova che le distanze tra le righe non hanno nei due spettri lo stesso rapporto delle lunghezze di questi. Le righe sono pur

sempre al loro luogo nei rispettivi colori, ma gli intervalli tra le righe hanno diversa proporzione nei due spettri, perchè l'estensione dei varii colori vi ha una proporzione diversa.

§ 378. Nello spettro rettangolare (pag. 730) l'intensità di luce è eguale nei punti d'una medesima sezione perpendicolare alla lunghezza ed è diversa da una sezione all'altra. L'ordine e la grandezza relativa di tutte queste differenze ponno rappresentarsi con una linea così: dai varii punti dei lati AI si elevino perpendicolari, proporzionali in lunghezza alle intensità della luce nelle sezioni corrispondenti; la linea che unisce la sommità di tutte le perpendicolari manifesta la successiva gradazione di luce nelle singole parti dello spettro. Fraunhofer misurò l'intensità della luce delle diverse parti dello spettro solare prodotto da un prisma di flint, e ne ebbe la curva segnata nella figura a pagina 703. Si vede che l'intensità massima è nel giallo presso il confine coll'aranciato, dove l'ordinata della curva è massima.

Acromatismo.

§ 379. Quando i raggi di luce, attraversata una lente biconvessa, escono convergenti, non si riuniscono tutti in uno stesso punto; ma i raggi di colore diverso, che appartengono ad un medesimo raggio bianco, convergono in punti distinti dell'asse per effetto della diversa rifrangibilità loro. Il raggio violetto raggiunge l'asse in un punto (v) più prossimo alla lente che non il rosso (in r), e fra questi due raggi estremi trovansi dispersi quelli degli altri colori. Quindi è che le immagini formate dalle lenti ordinarie appaiono meno spiccate e cinte da colori svariati. Questo fatto si denomina *aberrazione di rifrangibilità*.

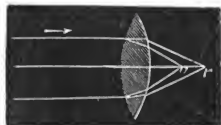


Fig. 360.

Fu Giovanni Dollond ottico di Londra, che nel 1757 conseguì una rifrazione senza dispersione, approfittando del fatto, che prismi formati di sostanze diverse a parità di potere rifrangente hanno potere dispersivo diverso. Così egli rese possibile l'*acromatismo*, che significa assenza di colorazione (α priv. e $\chi\rho\acute{o}\mu\alpha$ colore).

Perciò i sistemi di lenti e di prismi acromatici vogliono essere composti di più lenti o di più prismi di sostanze diverse.

Suppongasì infatti un prisma di crown (BCF), d'un angolo rifrangente non molto grande, il quale produce uno spettro di poca lunghezza. Un prisma di flint avente il medesimo angolo rifrangente dà uno spettro più lungo, epperò potrà dare uno spettro lungo

appena quanto quello del prisma di crown, ove il suo angolo rifrangente sia più piccolo (CFD). Tali due prismi a dispersioni eguali, uniti insieme in giaciture opposte, così che tendono a deviare i raggi luminosi in verso contrario, fanno un sistema (CDBF) che serba quasi

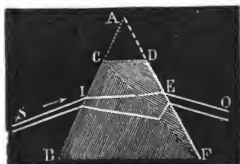


Fig. 361.

intero l'acromatismo ad un pennello di raggi che lo attraversi, perchè le dispersioni eguali nei due prismi seguono in senso contrario per l'opposta giacitura di questi; e così avviene che il raggio violetto ed il rosso corrispondenti ad un medesimo raggio bianco (SI), i quali all'uscire dal primo prisma sono divergenti, vengono dall'altro prisma ricondotti al parallelismo, onde emergono dal sistema composti insieme (in EO). Nè col togliere la dispersione si toglie la rifrazione, giacchè questa non varia nei due mezzi nello stesso rapporto che quella. Il raggio (EO) emergente dal sistema non è dunque parallelo all'incidente (SI), ma è rifratto.



Fig. 362.

Con gli stessi principii si forma pure un sistema acromatico di lenti. Una lente convessa di crown (A) riduce convergenti i raggi paralleli, ma la distanza focale dei raggi violetti è minore di quella dei rossi. I raggi, prima che arrivino al loro fuoco, siano ricevuti da una lente biconcava (B), oppure convesso-concava; questa diminuisce la convergenza dei raggi violetti e la convergenza dei rossi, ma più dei primi che dei secondi, e può essere così foggjata che i raggi violetti e i rossi abbiano a concorrere in un medesimo fuoco. D'ordinario la lente biconcava si congiunge alla biconvessa, e però le due superficie di congiunzione si fanno a curvatura eguale.

I fabbricatori di strumenti ottici trovano per tentativi gli angoli da darsi ai prismi, e le curvature delle lenti di sostanze diverse, affinché, accoppiate nel modo che si disse, diano un sistema acromatico. Pel sistema di due prismi, quando gli angoli rifrangenti son piccoli, è d'uopo che tali angoli siano in ragione inversa dei coefficienti di dispersione delle due sostanze. Per le lenti il calcolo dice quale curvatura si debba dare alla faccia esterna della lente biconcava, ritenuto che la curvatura della faccia interna sia corrispondente a quella della lente biconvessa cui aderisce.

Con due prismi o con due lenti si rende quasi insensibile l'aberrazione di rifrangibilità, ma non la si toglie affatto. Quando si è ottenuto che due raggi emergenti di colore diverso coincidano in uno

stesso punto, non si è ottenuto che coincidano in quello anche i raggi degli altri colori, giacchè le differenze di rifrangibilità dei diversi raggi (dispersioni parziali) non rimangono le medesime in pezzi di natura diversa. Riuniti dunque i raggi dei colori estremi, v'è tuttavia un residuo di dispersione dei raggi intermedi, che dà una specie di spettro detto *secondario*; ma questo è così piccolo da potersi trascurare a fronte dello spettro primario. Le lenti acromatiche comuni son fatte di due vetri congiunti nel modo suddetto; il loro acromatismo non è perfetto, ma in pratica è sufficiente. Adoperando tre lenti invece di due si può far coincidere il fuoco di un terzo colore col fuoco comune degli altri due. Amici ha costruito lenti composte di 7 vetri diversi, le quali congiungono in uno stesso punto i fuochi dei 7 colori prismatici principali.

Colori dei corpi.

§ 380. Non tutti i raggi che entrano in un corpo trasparente ne escono poi in quella direzione che risponde alla incidenza, giusta le leggi della rifrazione; ma alcuni vi si diffondono per entro, si sparpagliano da ogni punto all'ingiro ed escono variamente; altri vi si estinguono. La trasparenza dei mezzi non è dunque mai perfetta. L'aria, che tra le sostanze terrestri è una delle meglio trasparenti, presa in grosso strato, detrae alquanto alla luce che vi passa: difatti in cima degli alti monti sono visibili parecchie stelle che alle falde non si discernono. La differenza tra i corpi opachi ed i trasparenti non è essenziale; gli opachi, in sottili strati son translucidi, e i trasparenti in strati più e più grossi volgono all'opaco.

L'azione per la quale un corpo diminuisce l'intensità della luce che vi transita si chiama *assorbimento*, o meglio *estinzione* (a) di luce.

Un corpo diafano che estingue in egual proporzione i raggi d'ogni colore, quando riceve una luce composta la trasmette diminuita bensì, ma non alterata di tinta. Ma se il corpo estingue in diversa

(a) Ammettendo, come dissi sopra, che le differenze di colore e di rifrangibilità dei singoli raggi luminosi corrispondano semplicemente a differenze nel numero delle vibrazioni compiute per ciascuno di essi nell'unità di tempo, può dirsi che i raggi interamente assorbiti od estinti sono raggi le cui vibrazioni non sono compatibili colla natura speciale delle vibrazioni termiche del corpo pel quale transitano; epperò il loro moto luminoso si trasformerà in moto termico. E similmente accadrà pei fasci luminosi, che scemano soltanto d'intensità attraversando un dato corpo; cioè una parte della forza viva vibratoria luminosa verrà comunicata alla materia di tal corpo sotto forma di calore.

proporzione i raggi di colore diverso, la luce trasmessa non può avere la tinta della luce incidente; allora la luce bianca del giorno guardata attraverso del corpo, ci appar colorata di quel colore che porta la luce trasmessa. Nè solo il colore dato per trasparenza, ma ogni colore di corpi e diafani ed opachi, si ripete di leggieri da un'estinzione ineguale delle luci diverse.

Si può dunque ammettere che ogni molecola di materia abbia la facoltà di estinguere una frazione dei raggi di luce che le si presentano; frazione che è diversa, giusta la specie o il colore dei raggi affluenti, e giusta la natura della molecola. I raggi residui, cioè non estinti, vengono dalla molecola riflessi oppure trasmessi, e formano il colore che noi diciamo proprio dei corpi.

Gli spettri delle luci artificiali differiscono dallo spettro solare perchè hanno meno colori e non così vivi. Un corpo potrà dunque mostrare qualche differenza di tinta in ciascuna di queste luci. Vi sono corpi che veduti alla luce del giorno hanno un colore, veduti alla luce della candela o del gas ne hanno un altro.

In generale quanto più il colore di un corpo si scosta dal bianco, tanto più è a dirsi che siano sproporzionate tra loro le perdite che vi fanno i raggi diversamente colorati. Un corpo che riflette i raggi nella massima parte, e ne assorbe una medesima parte aliquota per ogni colore, apparisce *bianco*.

Diciamo *nero* un corpo che assorbe la massima parte di tutti i raggi e non ne riflette che pochissimi.

Organo della vista.

§ 381. L'organo della vista è dato da un sistema di due *occhi*. Ciascuno di questi, di forma globosa, è composto di parecchi mezzi di diverso potere rifrattivo, terminati da superficie curve di varia curvatura, aventi però un asse comune. Codesti mezzi cospirano a far convergere i raggi luminosi, che li attraversano, su di una membrana speciale, comunicante direttamente col nervo, il quale trasmette la impressione luminosa al sensorio centrale.

I raggi luminosi che giungono all'occhio incontrano dapprima una membrana a forma di calotta sferica, chiamata *cornea trasparente* (*a*), dietro la quale sta l'*umore acqueo* (*e*), che riempie lo spazio compreso tra esso ed il *cristallino* (*f*); questo ha forma di lente biconvessa con diversa curvatura dalle due bande: fra la cornea ed il cristallino, attraverso l'umore acqueo, si stende una membrana opaca detta *iride* (*d*), la quale nel mezzo porta un'apertura circolare, la *pupilla*, il cui diametro può variare, grazie alla contrattilità della membrana stessa, riducendosi la pupilla più angusta quando è troppo viva la luce ed allargandosi nell'oscurità.

Lo spazio compreso dietro il cristallino sino alla retina è empito di un liquido gelatinoso, chiamato *umor vitreo* (*h*), avvoluppato da una membrana sottile e diafana chiamata *jaloidea* (*l*). Il globo

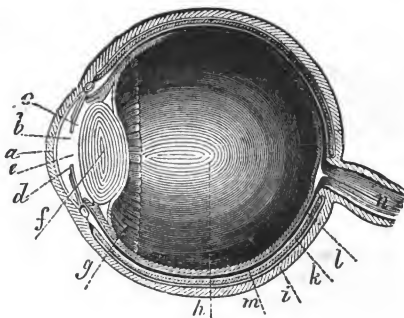


Fig. 363.

dell'occhio è poi circondato e protetto da diverse membrane, e soprattutto dalla *sclerotica* (*i*), membrana fibrosa ed opaca, la quale, insieme alla cornea, involuppa tutte le anzidette parti dell'occhio. All'interno di essa sta la *coroide* (*k*), membrana vascolare, ricoperta all'interno d'uno strato di pigmento nerastro che sembra destinato ad estinguere i raggi luminosi diffusi nell'umor vitreo. E finalmente su la coroide vien distendendosi, senza aderirvi, la *retina* (*m*), la quale costituisce quasi un'espansione del *nervo ottico* (*n*) a forma di rete nervosa.

L'indice di rifrazione dell'umor vitreo (1,339) poco differisce da quello dell'umor acqueo (1,336): talchè il cristallino trovasi fra due

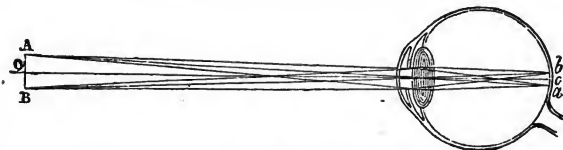


Fig. 364.

mezzi di rifrangenza quasi eguale; esso però è costituito da diversi strati, il cui poter rifrangente va aumentando mano mano dai superficiali ai centrali, ed il loro indice di rifrazione sta compreso

fra 1,377 ed 1,399. Pertanto un fascio luminoso divergente mosso da un punto (A) dell'oggetto (A B), penetrando nella cornea avviato alla pupilla, subirà ne' suoi raggi una prima inflessione convergente, passando dall'aria all'umor acqueo attraverso la superficie convessa della cornea. Si ridurrà poi in un fascio convergente attraversando il cristallino, che opera come una lente biconvessa. Il vertice (a) di questo fascio riesce utile per la sensazione visiva se cade sulla retina. Analogamente, il fascio luminoso divergente irradiato dal punto B darà in b il vertice del fascio stesso ridotto convergente; e lo stesso dicasi di tutti i fasci di raggi emessi dai vari punti dell'oggetto, i quali daranno una serie di immagini comprese fra a b , Laonde su la retina si avrà l'immagine ab rovesciata, reale ed assai piccola dell'oggetto AB; potrà dirsi che il meccanismo delle immagini nell'occhio è affatto analogo a quello, per cui una lente biconvessa (§ 372) vien formando in un suo fuoco l'immagine di un oggetto situato nell'altro fuoco conjugato col primo.

Mutando la distanza dell'oggetto, l'immagine sua non si formerà più sulla retina, ma si sposterà lungo l'asse dell'occhio seguendo la medesima direzione nella quale si move l'oggetto. Sulla retina invece d'una immagine nitida si produce un'immagine confusa, come avviene sopra uno schermo che raccolga i raggi emergenti da una lente biconvessa prima o dopo il fuoco conjugato dell'oggetto, dove si debbono radunare per dare la immagine chiara e distinta.

Perchè la visione sia netta bisogna che in ogni caso l'immagine si formi sulla retina. Perciò è necessario aumentare o diminuire il poter rifrangente dell'occhio a seconda che l'oggetto si avvicina o si allontana. Nell'occhio normale si produce spontaneamente una tale modificazione; e allora si dice che l'occhio si *accomoda*, o che avviene la *accomodazione*. Per gran tempo fu incerta la dottrina della accomodazione, finchè Cramer ed Helmholtz ne diedero una completa spiegazione sperimentale, dimostrando che essa è dovuta ad una modificazione di curvatura ed insieme ad uno spostamento delle superficie del cristallino, massime della superficie anteriore, il cui raggio di curvatura può variare da mill. 11,9 per vedere oggetti molto lontani, sino a mill. 8,6 per oggetti vicini; nel mentre lo spostamento all'innanzi della stessa superficie anteriore può essere di mill. 0,44 secondo le misure di Helmholtz.

Queste modificazioni nel cristallino si producono mercè i *muscoli ciliari* ed i *processi ciliari* (g), ai quali aderisce la *capsula* del cristallino, che è una membrana perfettamente trasparente.

Tuttavia sonvi molte persone la cui vista non può facilmente accomodarsi alle diverse distanze. Si chiamano *miopi* o *brachimetrici* coloro che ponno vedere distintamente solo a piccole distanze.

perchè avendo un complessivo poter rifrangente più forte del consueto, oppure una eccessiva lunghezza del globo oculare, gli oggetti situati a qualche distanza producono per essi immagini all'innanzi della retina, cioè nell'umor vitreo. Si corregge codesto difetto cogli occhiali a lenti divergenti, le quali producono nei raggi luminosi, innanzi al loro ingresso nell'occhio, tale un aumento di divergenza che il punto di successiva loro convergenza cade sulla retina. E si chiamano *ipermetropici* coloro che mal distinguono gli oggetti vicini e meglio scorgono quelli un po' remoti, perchè, per insufficiente poter refrattivo dell'occhio o per scarsa lunghezza del globo oculare, l'immagine degli oggetti vicini cade per essi dietro la retina. Si rimedia a quest'altro difetto cogli occhiali a lenti di convergenza, per modo che l'effetto loro, insieme con quello dei vari mezzi dell'occhio, produca sulla retina il punto di convergenza dei raggi luminosi mossi dagli oggetti vicini.

Le persone, il cui occhio in riposo, cioè senza ricorrere ad accomodazione, fa convergere precisamente sulla retina i raggi incidenti paralleli all'asse dell'occhio, diconsi aver l'occhio *emmetropico*. Per esse la *distanza della visione distinta*, cioè quella per cui gli oggetti minuti, come i caratteri a stampa, sono veduti colla massima chiarezza, riesce compresa fra 25 e 30 centimetri: però questa distanza risulta minore per i miopi e maggiore per gli ipermetropici.

Il potere accomodativo va soggetto ad alcune alterazioni. Un occhio emmetropico mediante l'accomodazione riesce a vedere gli oggetti vicini fino a 25 e 30 centimetri, come si disse. Col crescere dell'età in generale, la minima distanza della visione distinta (che si chiama distanza del *punto prossimo*) aumenta; cosicchè gli oggetti riescono nettamente visibili solo entro limiti più ristretti dello spazio. Ciò dipende da una diminuzione del potere accomodativo. Un tal difetto d'accomodazione piglia il nome di *presbiopia*, e *presbite* chiamasi la persona che ne è affetta. È facile vedere che la presbiopia può andar congiunta tanto colla ipermetropia quanto colla miopia, poichè consiste solo in un allontanamento del punto prossimo. Così un occhio il quale nello stato normale di riposo fa convergere i raggi paralleli incidenti davanti alla retina, è miope; esso comincia a vedere nettamente gli oggetti solo a distanze relativamente piccole; mediante l'accomodazione li può distinguere bene anche a distanze minori; ma se l'accomodazione non basta a produrre una visione distinta quando l'oggetto dista non più di 25 o 30 centimetri, allora quell'occhio può anche dirsi presbite.

Si chiama *asse ottico* principale di un occhio la retta rispetto alla quale le varie sue parti sono simmetricamente disposte. Ove l'occhio abbia normale conformazione, l'asse ottico passa pel centro della

pupilla e pel centro del cristallino. Si chiama poi *angolo ottico* l'angolo (BAC) formato dagli assi ottici principali dei due occhi rivolti ad un medesimo punto (A): però quest'angolo diminuirà di grandezza

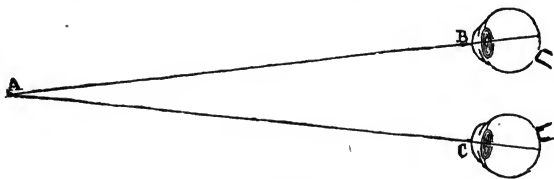


Fig. 365.

coll'aumentare della distanza dallo stesso punto. E si chiama poi *angolo visuale* l'angolo (AOB) (fig. 366), sotto il quale si vede un oggetto (AB), cioè l'angolo formato dalle rette condotte dal centro del cristallino ai punti estremi dell'oggetto, rette che diconsi anche assi ottici secondarii. Quest'angolo, data essendo la distanza dell'oggetto, è commisurato alla grandezza di questo, e diminuisce poi per un og-

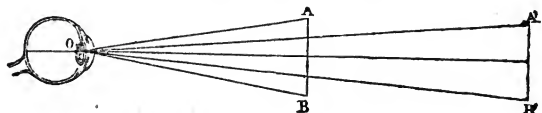


Fig. 366.

getto di data grandezza coll'aumentare della distanza di esso, come ad esempio quando l'oggetto passa da AB in A'B'. Pertanto gli oggetti appajono sempre più piccoli quanto è maggiore la loro distanza, poichè la grandezza dell'immagine di un oggetto proiettato sulla retina dipende dalla grandezza dell'angolo visuale che comprende l'oggetto stesso.

Strumenti ottici.

§ 382. Le cose esposte ai § 356, 365, 370 e 371 intorno alle modificazioni recate dagli specchi, dai prismi e dalle lenti all'andamento dei raggi luminosi valgono ad interpretare facilmente le modificazioni subite dalle immagini degli oggetti in opera de' vari strumenti ottici, costituiti da diverse combinazioni di lenti, di specchi e di prismi. Però ci limiteremo ad un cenno su alcuni di essi.

I *microscopi* sono strumenti che danno di oggetti molto piccoli immagini notevolmente ingrandite, e collocate a tal distanza dall'occhio da poterle vedere distinte; perciò servono ad osservare le più minute particolarità della loro forma e struttura. Si distinguono in semplici e composti.

Un *microscopio semplice* consta d'una lente di forte convergenza per la quale un oggetto, posto fra la lente ed il di lei fuoco principale, produce la sua immagine virtuale e dritta per l'occhio dell'osservatore che sta dall'altra banda; epperò l'ingrandimento di questa immagine aumenta col diminuire la distanza dell'oggetto dal fuoco principale. Perchè la visione sia distinta bisognerà adunque dare all'oggetto una tal posizione, tra il fuoco e la lente, che l'immagine si produca alla distanza della visione distinta. Come questa varia da persona a persona, così ciascuno deve regolarsi per tentativi colla propria vista.

Se invece l'oggetto è posto all'infuori di questo fuoco, si produce un'immagine reale e capovolta di esso nel fuoco conjugato. Allora, osservando quest'immagine per mezzo d'una seconda lente convessa, situata ad una distanza da essa minore della propria distanza focale, apparirà all'occhio dell'osservatore ingrandita nei rapporti della distanza della visione distinta a quella del fuoco principale della lente. Un cosiffatto sistema [di lenti costituisce un *microscopio composto*, nel quale la lente di minor distanza focale è

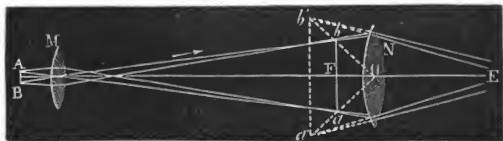


Fig. 367.

chiamata *obbiettiva* ed è quella che riceve primamente i raggi luminosi dell'oggetto; l'altra è detta *oculare*. A correggere però il difetto di varia rifrangibilità dei singoli raggi colorati, si aggiunge una terza lente convessa, interposta fra l'obbiettiva e l'oculare, così da raccogliere alquanto i raggi provenienti dall'obbiettiva, e diminuire quindi la loro obliquità rispetto all'asse dello strumento: il che giova a scemare la aberrazione.

Nel *microscopio solare* un fascio di raggi solari, ricevuto su d'uno specchio, all'esterno della camera buia, è da questo avviato su una prima lente di non molta convergenza. L'oggetto, fortemente illumi-

nato, è posto invece all'infuori del fuoco principale della lente di maggiore convergenza, e produce quindi un'immagine reale molto ingrandita, che ricevesi su di uno schermo bianco in una camera buja.

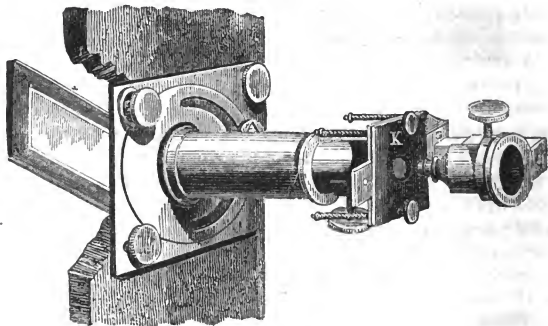


Fig. 368.

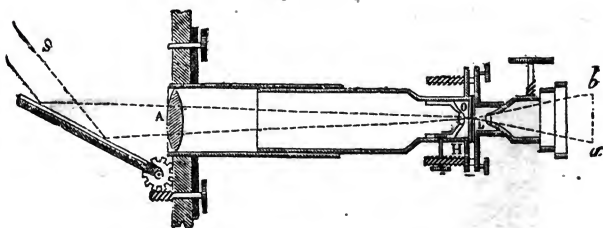


Fig. 369.

Pertanto nei microscopi l'ingrandimento delle immagini dipende anzitutto dalla distanza focale dell'obbiettivo, la quale quanto minore sarà, maggiore sarà l'amplificazione dell'immagine.

I *telescopi* o *cannocchiali astronomici* si distinguono in diottrici e catadiottrici, secondo che sono costituiti da sole lenti, oppure da specchi e da lenti.

Il *cannocchiale diottrico* corrisponde ad un microscopio composto rovesciato, dove la lente di minore convergenza e di maggiori dimensioni è rivolta all'oggetto lontano che vuolsi osservare, laddove l'oculare è dato dalla lente di maggiore convergenza: inoltre le distanze focali d'entrambe le lenti sono qui di gran tratto maggiori.

che nel microscopio, e quindi maggiore d'assai è la lunghezza del tubo congiungente le due lenti.

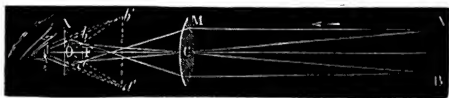


Fig. 370.

Così nel *cannocchiale di Keplero* l'obbiettivo, rivolto ad un oggetto situato a molta distanza, produce poco al di là del suo fuoco un'immagine reale, rovesciata e piccola dell'oggetto: l'oculare, avendo il suo fuoco interno a poca distanza da codesta immagine e presso il fuoco dell'obbiettivo, trasforma l'immagine stessa in un'immagine virtuale molto ingrandita diretta rispetto all'immagine data dall'obbiettivo, e perciò capovolta rispetto all'oggetto.

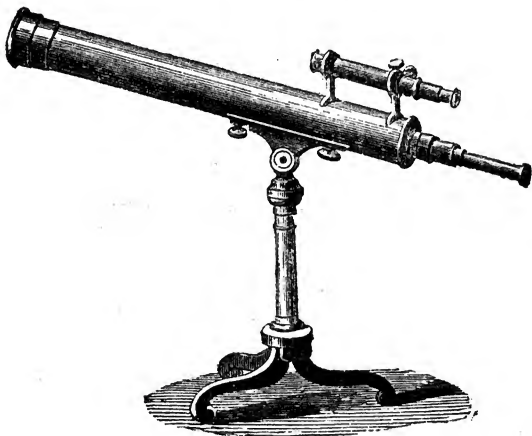


Fig. 371.

Nel *cannocchiale di Galileo*, invece dell'oculare convergente, eravi una lente biconcava, posta fra l'obbiettivo ed il suo fuoco principale, ad una distanza da questo di poco maggiore della distanza focale di essa lente divergente, talchè trasforma l'immagine reale che sarebbe

dovuta all'obbiettiva in un'immagine virtuale, ingrandita e rovesciata rispetto a quella, ma diritta rispetto all'oggetto. Però con codesto cannocchiale non può aversi molta amplificazione d'immagine senza troppo scapito nella di lei chiarezza; ond'è che ora lo si adopera con vantaggio solo nei binocoli da teatro, o dove gli oggetti son molto illuminati: mentre per le osservazioni astronomiche, nulla nuocendo il rovesciamento delle immagini, si adopera il sistema anzidetto colle due lenti convesse.

Con quest'ultimo sistema e coll'aggiunta di altre due lenti di con-



Fig. 372.

vergenza si ottiene il *cannocchiale terrestre*. La prima di queste (R) dista dal fuoco dell'obbiettiva (Q) d'una quantità corrispondente alla distanza focale principale di essa: cosicchè l'immagine data dell'obbiettivo si forma nel suo fuoco. I fasci luminosi che l'attraversano, partendo da un punto sull'asse, hanno direzioni tali da formare un'immagine a distanza infinita. Perciò incontrando la seconda lente aggiunta (S), si raccolgono fuoco principale di essa. I raggi che partono da altri punti dell'immagine, per es. da *a*, emergono dalla lente R paralleli all'asse secondario corrispondente ad *a*. Questo fascio cilindrico va quindi a dare una immagine di *a*, convergendo in un punto unico, al di là della lente S. È facile vedere che si formerà una immagine capovolta rispetto ad *ab*, ma diritta rispetto all'oggetto. Questa vien ingrandita ed osservata per mezzo dell'oculare (T).

Nei *telescopi catadiottrici* i raggi luminosi mossi da un astro sono

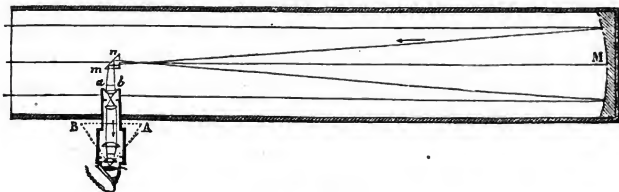


Fig. 373.

accolti su la superficie di uno specchio concavo di molta distanza focale, posto nel fondo di un lungo tubo aperto verso il cielo. La

immagine data da questo specchio veniva, nel *telescopio di Newton*, riflessa da uno specchietto piano (mn), posto poco prima del fuoco di quello, ed inclinato a 45° su l'asse del tubo, sicchè era avviata (in $a'b'$) entro un tubo minore, perpendicolare al primo e munito colla lente oculare che ne dà un'immagine ingrandita (AB).

Laddove nel *telescopio di Gregory* la immagine (ab) data dallo



Fig. 374.

specchio principale era ricevuta su altro specchietto concavo coll'asse coincidente col primo o distante dal fuoco di questo di una quantità

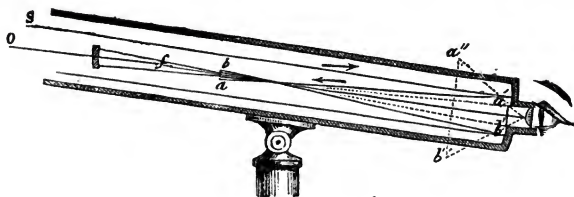


Fig. 375.

poco maggiore della sua distanza focale, e quindi riprodotta diritta in $a'b'$, attraverso un foro circolare, scolpito in mezzo dello specchio

principale, era osservata mediante la lente oculare, che ne dava una immagine ingrandita ($a'' b''$). (V. fig. 374 e 375):

Invece nel *telescopio di Herschel* (fig. 376), essendo l'asse dello specchio inclinato rispetto a quello del tubo, l'immagine prodotta dallo

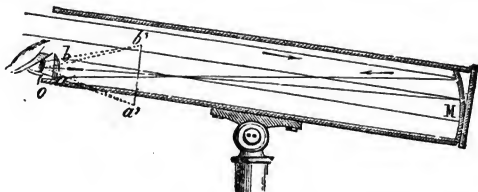


Fig. 376.

specchio (in ab), cadendo obliquamente su un punto delle pareti del tubo stesso, può venir osservata direttamente coll'oculare, senza bisogno d'altra riflessione, epperò con notevole vantaggio nella chiarezza della immagine che si produce in $a'b'$.

Infine Foucault, sostituendo allo specchio metallico de' telescopi uno specchio di vetro, argentato alla sua superficie, rese meno difficile e meno costoso il lavoro dei grandi telescopi catadiottrici.

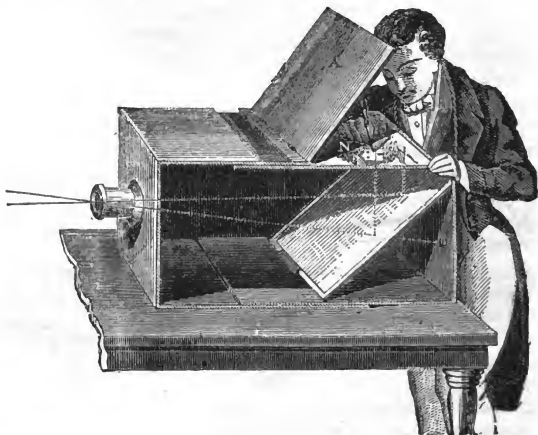


Fig. 377.

La *camera oscura*, immaginata dal Della Porta, consiste in una cassetta portante da un lato un'apertura, ove si applica una lente

di convergenza. Questa avvia i raggi luminosi mossi da un oggetto esterno e lontano su di uno specchio piano inclinato, che sta di contro ad esso. Essendo lo specchio collocato ad una distanza poco minore della distanza focale della lente, così riflette l'immagine di quell'oggetto su di una superficie traslucida, sulla quale un osservatore può segnare i contorni dell'immagine stessa.

A quest'intento, dell'agevolare il disegno delle immagini degli oggetti, giovano anche le così dette *camere lucide*. In esse i raggi luminosi mossi da un oggetto, dopo aver attraversato una lente di convergenza, penetrano in un prisma co' suoi spigoli ad essi nor-

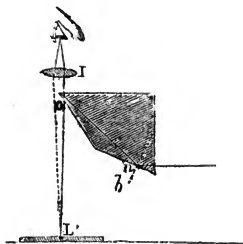


Fig. 378.

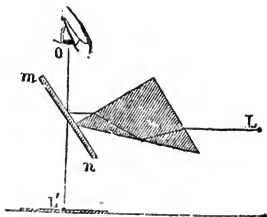


Fig. 379.

mali. Mercè una o due riflessioni totali (§ 362), contro alcune delle faccie del prisma, vengono ad emergere in direzione verticale, proiettando l'immagine su di un foglio bianco orizzontale, sul quale è facile tracciarne il disegno.

Radiazioni termiche.

§ 383. Quando il calore si propaga senza intervento sensibile di materia grave si appella *raggiante*, perchè procede a raggi, come la luce attraverso lo spazio che intercede fra corpi.

Un indizio del calore raggiante si ha nella vecchia osservazione di Scheele, che il calore uscito dalla bocca di una stufa ardente, non piega punto dalla diritta via per agitazione, comunque forte, eccitata nell'aria interposta.

E che i raggi di calore procedano anche per uno spazio vuoto fu così mostrato da Rumford. Si costruisce un barometro, la cui camera abbia la forma di una bolla e tenga sospeso nel mezzo per sottilissimo filo di seta un termometro; poi, rammollito a dardi di fiamma il tubo sotto la bolla, si chiude questa ermeticamente, senza che aria

vi passi, distaccandola in pari tempo dal tubo. Se ponesi un corpo caldo, benchè non luminoso, a contatto della bolla, od anche a qualche distanza, si vede che il termometro sale, mercè i raggi che attraversano lo spazio vuoto (a). Dulong e Petit verificarono queste esperienze con un pallone di 3 decimetri di diametro, in cui avevano fatto il vuoto con un'ottima macchina pneumatica.

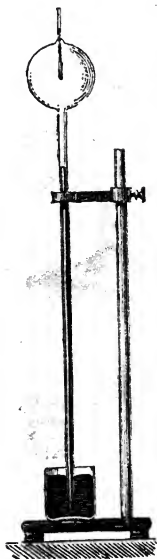


Fig. 380.

Meglio concludente è la prova fatta da Davy. Due specchi parabolici conjugati son disposti entro una alta campana di vetro dove si fa il vuoto pneumatico, essendo gli assi degli specchi in una verticale. Nel fuoco dello specchio inferiore si pone un termoscopio e nel fuoco dello specchio superiore una spirale di platino che si fa scaldare con una corrente voltiana. In questa disposizione anche i moti di conversione della poca aria residua nella campana non ponno influire sul termoscopio posto in basso nel senso di aumentarne la temperatura; tuttavia il termoscopio segna un notevole riscaldamento.

§ 384. Lo studio più difficile del calore raggiante riguarda la *qualità* dei raggi e non la *quantità*. Si tratta di istituire una analisi dei raggi termici, simile a quella che pei raggi di luce fu eseguita col mezzo della dispersione e dell'assorbimento. Ma se per l'analisi della luce ne giova il fenomeno fisiologico della differenza dei colori, per la analisi del calore non abbiamo un senso così discretivo che tenga le veci della vista, e però conviene far tutto con istrumenti esploratori. La graduazione di questi strumenti, che si chiamano *termattinometri* (ακτιν ραγιο), non necessita un rapporto conosciuto con la graduazione del termometro comune: basta che le sue parti siano comparabili tra loro. La notizia delle temperature è inutile qui, come

inutili sono le indicazioni di un lucimetro nella analisi della luce, avendosi i medesimi risultamenti, sia la luce intensa, o sia debole.

Gli strumenti devono bensì essere molto sensibili, perchè la natura delle ricerche esige ch'essi accusino la presenza dei raggi a buona distanza dal corpo che li manda, e devono tuttavia essere insensibili alle variazioni di temperatura dell'aria atmosferica.

(a) Valga anche pei raggi termici l'avvertenza fatta sopra pei raggi luminosi, volendosi per quelli significare soltanto le rette congiungenti due punti, l'uno d'un corpo, l'altro d'un altro, tra' quali si esercita una reciproca azione riscaldatrice o raffreddatrice.

Melloni ha costruito un termattinometro prontissimo e delicatissimo mercè pile termo-elettriche (§ 344) ad elementi molto piccoli (quanto a sezione trasversale) e numerosi, collegati con un galvanometro a filo di non molta lunghezza e piuttosto grosso.

Le leggi scoperte con quell'istrumento si possono verificare abbastanza bene coi termometri differenziali, i quali per la molta di-

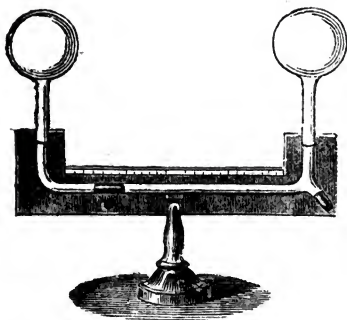


Fig. 381.

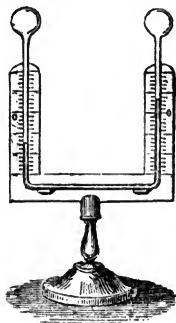


Fig. 382.

latabilità del corpo termometrico sono assai sensibili, e per la composizione simmetrica a due bolle, non danno segno dei cangiamenti di temperatura dell'aria esterna, gli effetti dei quali vi si equilibrano sempre. Ma è necessario che le bolle siano coperte d'uno strato di nero fumo, il quale, come vedremo, ha la virtù d'accogliere egualmente i raggi d'ogni sorta e trasmetterne il calore al vetro e all'aria interna. Inoltre è necessario che il termometro sia difeso dai raggi termici altri da quelli che si tratta di esaminare; al che si provvede applicando, a custodia delle bolle, tubi leggeri di rame liscio, orizzontali, chiusi all'un capo; dall'altro capo si possono chiudere con una laminetta ivi mobile in un piano perpendicolare all'asse. Così lo strumento riceve solo i raggi della fonte a cui è rivolta la bocca aperta del tubo; i raggi mandati dal corpo dell'osservatore e dai corpi circostanti, cadono sulla superficie del tubo, che li riflette via.

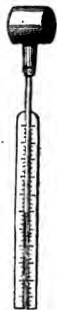


Fig. 383.

Le fonti di calore sono molte e diverse; convien sceglierne per lo studio alcune che rappresentino le fasi principali dalle basse alle alte temperature. Le fonti da scegliere vogliono essere di forza costante per tutto il tempo che le esperienze durano.

Una sorgente costante di calore oscuro è l'acqua o un altro liquido che bollesca di continuo per l'azione di una piccola lampada. Il recipiente del liquido si fa cubico (A), (fig. 384) e si copre di nero

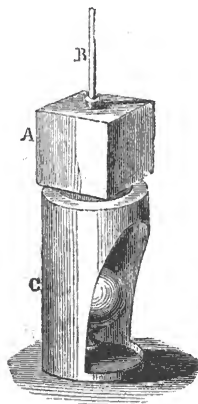


Fig. 384.



Fig. 385.

fumo alla superficie esterna; esso può girare intorno a un asse verticale (B): i raggi della lampada sono impediti, per uno schermo cilindrico (C), di andare al termometro.

Un'altra fonte costante di calore oscuro, è una foglia verticale di rame annerita di fumo, un po' ricurva all'innanzi lungo l'orlo e col picciuolo che volge all'indietro e si mette fisso nel sostegno. La superficie posteriore della foglia è scaldata dalla fiamma di una lampada a spirito di vino. Sulle prime la temperatura del metallo ascende rapidissima, ma poi arriva a tale che le perdite di calore per irradiazione e per comunicazione all'aria sono compensate giustamente e di continuo dalla fiamma, e d'allora in poi la temperatura della foglia si mantiene costante. Questa temperatura è da 360° a 400° C., quando la foglia sia grossa un terzo di millimetro, abbia la superficie da 20 a 22 centimetri quadrati, e tenga in contatto della fiamma all'incirca una terza parte della faccia posteriore.

Una terza fonte rappresenta la fase dei corpi incandescenti. Aggiustato il lucignolo di una lampada ad alcole in modo che dia una fiamma quieta, alta circa 15 millimetri, e larga 8 alla base (chè più grande non sarebbe quieta), si sospende sulla fiamma una spirale

conica di filo di platino grosso un mezzo millimetro, la quale abbia un volume pari a quel della fiamma, e si fa che le ultime spire discendano fin dove comincia la combustione viva dell'alcole e le altre stiano immerse negli strati superficiali della fiamma, che son quelli da cui parte la luce. Allora succede che il fil di metallo toglie alla fiamma tanto calore, ch'essa illanguidisce ed il filo si fa incandescente; continua così la combustione lenta dell'alcole tutt'all'intorno delle spire, ma non c'è più fiamma viva, nè altro si vede che la spirale rossa con qualche nubecola azzurra presso il lucignolo.

Da ultimo una buona fonte di calore è la lampada di Locatelli a livello costante, senza caminetto di vetro, la quale arde a fiamma sempre eguale, perchè il lucignolo compatto non lascia salire le mucosità e le sostanze eterogenee e non fa il fungo.

§ 385. La propagazione del calor radiante non è libera se non nel vuoto, ma può aversi come libera anche quando si fa per non lungo spazio nell'aria atmosferica omogenea.

Per riconoscere se i raggi termici si propagano veramente in linea retta come la luce, si prende un ampio schermo, con un foro non molto grande nel mezzo, fisso verticalmente. Alla distanza di alcuni decimetri e all'altezza del foro, si pone da una parte dello schermo una fonte di calore, e dall'altra parte il termoscopio con l'apertura della custodia prospiciente il foro. Si ha il massimo effetto al termoscopio quando i centri della fonte, del foro e del termoscopio sono su d'una medesima retta; e l'effetto diminuisce mano mano che si rimuove da questa retta o il termoscopio o la fonte, e cessa quando nessuna delle rette guidate dalla fonte per il foro giunge al termoscopio.

Per veder poi se la velocità della propagazione sia paragonabile a quella della luce, si ponga in faccia, ed a distanza l'una dall'altro (fig. 387, 388), una buona fonte di calore (F), per esempio la spirale di platino incandescente, e il termoscopio (T): uno schermo (S) a doppia lamina copra da vicino la fonte, un altro schermo simile (S') copra da vicino lo strumento. Così fatto, si tolga lo schermo S dalla fonte; i raggi vanno all'altro schermo (S') e si trovano vicino al termoscopio; si tolga anche questo schermo (S'), e i raggi, percorso il brevissimo intervallo, cadono sull'istrumento, che prende a darne indizio. Si misuri con esattezza il tempo che passa dall'istante che si toglie lo



Fig. 386.

schermo S' all'istante di una fase ben precisa della indicazione termoscopica. Si riponga poi lo schermo (S) della fonte, e si aspetti



Fig. 387.

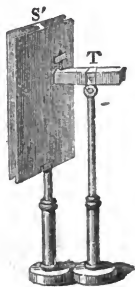


Fig. 388.

che il termoscopio abbia perduto i segni del riscaldamento. Allora si tolga lo schermo (S); i raggi diretti al termoscopio, percorrono questa volta il lungo spazio interposto; si misuri ancora il tempo dall'istante che si toglie lo schermo all'istante della fase termoscopica suddetta. Ripetendo queste prove più volte, risulta che la media dei tempi misurati nella prima parte di ogni prova è uguale alla media di quelli misurati nella seconda parte. Dunque non è apprezzabile il tempo impiegato dai raggi a percorrere lo spazio che v' è di più nella seconda parte dell'esperimento. Le nostre fonti di calore non permettono di estendere le esperienze a distanze grandi. Però esse bastano a dimostrare che non v' ha confronto tra la velocità del calor raggianti e quella del calor condotto nell'interno de' corpi.

Anche la legge, conseguenza immediata della irradiazione sferica da un punto, che le intensità siano in ragione inversa dei quadrati delle distanze da quel punto, fu verificata da Melloni. Vorrebbero però una fonte di calore ed un termometro le cui dimensioni siano piccolissime rispetto alla grandezza delle distanze: condizioni che in pratica non si ponno adempire.

Ad escludere codesta difficoltà si immagini un cono cavo VMN. (fig. 389), la cui superficie interna sia incapace di riflettere calore; la cavità, supposto l'asse (VA) orizzontale, sia rivolta verso un piano verticale (BC) fisso a qualche distanza, e più caldo che l'aria del luogo. Il cono abbia un'apertura angolare (MVN) piccola, onde il prolungamento ideale di essa (MPQN) cada tutto sul piano caldo, anche se il cono vien allontanato a un certo segno (V'). Si supponga per poco

che il corpo termoscopico sia un punto solo nel vertice (V) interno del cono. Se la intensità del calore irradiata dal piano tiene proprio la legge inversa del quadrato della distanza, è chiaro che quando il cono, serbato l'asse in direzione orizzontale, si allontani dal piano (da V verso V'), l'azione calorifica sul termoscopio non deve mutarsi;

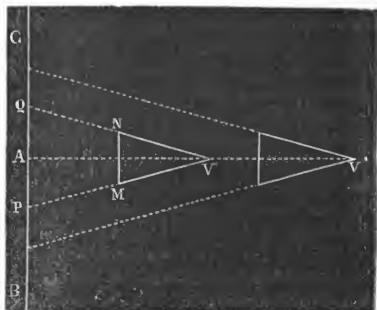


Fig. 389.

perciocchè la parte circolare del piano che manda raggi al punto termoscopico cresce in ragione del quadrato della distanza senza che varii tuttavia l'inclinazione dei raggi mandati, mentre l'intensità calorifica di questi diminuisce nella medesima ragione, poichè la maggiore estensione della parte irradiante compensa in giusta misura la perdita d'intensità per l'aumento della distanza. Ciò varrà anche per più punti che sieno in cima della cavità conica a superficie non riflettente e costituiscono un piccolo piano perpendicolare all'asse della cavità. Perciò il piccolo termattinometro di Melloni che ha faccia piana, incastrato nel vertice di un tubo conico di rame (cono collettore) la cui superficie interna non valga a riflettere i raggi di calore per una fodera di velluto nero, vien collocato coll'asse orizzontale in faccia alla parete di un gran vaso pieno d'acqua calda. Quando il termattinometro s'è posato a segno, pur allontanando od avvicinando il cono collettore alla parete, non subirà alcun spostamento.

Il calor raggianti si propaga dunque in linea retta, con una velocità così grande che non ci riesce misurarla, e la sua intensità è in ragione inversa del quadrato della distanza dalla fonte.

§ 386. Il calor raggianti, al pari della luce, ha origine dai corpi o, come vuolsi dire, viene *emesso* da questi. Se nel suo cammino si

abbatte in altri corpi, è in parte *riflesso*, ed in parte entra in essi. Il calore penetrato è talvolta trattenuto tutto quanto, cioè *estinto*, e talvolta è estinto solo in parte, e l'altra parte procede a raggi nell'interno dei corpi e li attraversa, onde può dirsi calor *trasmesso*.

Newton per considerazioni teoretiche pose come principio; che, quando un corpo va raffreddandosi, la frazione di grado onde si abbassa la sua temperatura in un brevissimo tempo, è proporzionale all'eccesso di questa temperatura su quella dei corpi circostanti. L'esperienza dimostrò che la legge non è generale, ma che può aversi per vera allorché codesto eccesso non supera i 15 o 20 gradi.

Posto un termometro differenziale esatto in un luogo a temperatura costante, si riscalda cautamente con la mano una delle sue bolle, finché l'indice si fermi a un certo segno. Su d'un regolo diviso a millimetri, parallelo alla scala dello strumento, si osserva il numero n di millimetri per cui l'indice s'è rimosso dalla sua posizione di equilibrio; poi, levata la mano dalla bolla, si lascia che questa vada raffreddandosi; e intanto si osservano al regolo i numeri n' , n'' , n''' ... che misurano le distanze che l'indice ha ancora dalla posizione di equilibrio ad intervalli di tempo eguali fra loro. Si trova che codesti numeri formano, con grande prossimità, una progressione geometrica decrescente, come richiede la legge di Newton.

Se la bolla che prendesi a riscaldare è stata coperta prima con foglia d'oro o d'argento, o con carta od altro, la legge sta pur sempre, ma la ragione della progressione decrescente n , n' , n'' ... è diversa per le sostanze diverse, e ciò significa che le sostanze diverse non si raffreddano con eguale rapidità.

L'esperienza dimostra che la legge sussiste anche per un corpo che vada riscaldandosi perché circondato da corpi più caldi. La frazione di grado onde si innalza la sua temperatura in un brevissimo tempo è proporzionale all'eccesso della temperatura dei corpi circostanti sulla sua, quando tale eccesso fin dal principio non passi un certo limite. Si prova con un metodo simile al suddetto.

I numeri osservati, e nel primo caso e nel secondo, tanto più si dilungano dalla norma delle progressioni, quant'è più grande la differenza iniziale tra la temperatura del corpo dato e quella dei circostanti. La legge di Newton è dunque una legge prossima al vero nei soli casi di temperature non molto differenti.

Ritenuto che la quantità di calore, che perde o che acquista un corpo, attesa la sua costante caloricità, sia misurata dall'abbassamento o dalla elevazione di temperatura, la legge di Newton entro i predetti limiti può esprimersi anche così: *il calore perduto o acquistato in un tempo brevissimo da un corpo che si va raffreddando o riscaldando è proporzionale alla differenza tra la tempe-*

ratura sua e quella dell'ambiente, ossia alla quantità totale di calore che il corpo deve perdere od acquistare per mettersi in equilibrio di temperatura coll'ambiente.

Da questa legge si cavano due corollari:

1.^o Quando un corpo, per esempio la bolla di un termometro differenziale, riceve di continuo raggi di calore da una fonte costante, la sua temperatura non può innalzarsi indefinitamente; perchè la quantità di calore che esso riceve in tempi eguali è sempre la stessa, mentre quella che perde cresce al crescere dell'eccesso della sua temperatura sulla temperatura dell'aria ambiente; così giunge un istante in cui il corpo riceve tanto calore quanto ne perde, e d'allora in poi la temperatura sua è stazionaria.

2.^o Quando la bolla di un termometro differenziale è esposta ad una fonte costante di calore, l'eccesso finale di temperatura da esso segnata sarà proporzionale alla quantità di calore che la bolla riceve ad ogni istante; e se in diverse prove i raggi termici vengono alla bolla da fonti di varia intensità, ma sono pari del resto le contingenze anteriori dei raggi, codesto eccesso di temperatura sarà direttamente proporzionale alla intensità del calore irradiato da ciascuna fonte. Difatti la bolla, riscaldandosi grado grado, irradia essa medesima, come fonte secondaria, quantità man mano crescenti di calore, fino a che ne irraderà quanto ne riceve.

§ 387. Ogni corpo, qualunque sia la sua temperatura, può emettere calore raggiante; fosse pure il ghiaccio, od il mercurio gelato. Il termoscopio però non può darne segno, se la temperatura dell'ambiente non è più bassa di quella del corpo. Vediamo prima le leggi generali dell'emissione.

1.^o *La quantità di calore irradiata da una superficie è in ragione diretta semplice dell'area di questa.* Colla esperienza si trova che il calore ricevuto, a pari condizioni, da una data unità di superficie raggiante è il medesimo per tutte le altre unità, qualunque sia il numero di unità costituenti la superficie intiera.

2.^o L'intensità dei raggi termici emessi da una superficie è massima nella direzione perpendicolare alla superficie stessa: nelle altre direzioni riesce proporzionale al seno dell'angolo che i raggi fanno con la superficie emittente. È la stessa legge della irradiazione luminosa (§ 352); perciò: *la quantità di calore emesso obliquamente da una superficie, in un certo tempo, è eguale a quella che sarebbe emessa perpendicolarmente, in un tempo eguale, dalla superficie piana che è proiezione di quella sopra un piano normale alla direzione dell'irraggiamento.*

Il termattinometro, munito del cono collettore, sia collocato davanti ad un largo piano raggiante verticale, e l'asse del sistema sia

orizzontale e perpendicolare al piano. S'avrà una data indicazione. Ciò posto, se il piano è mobile, lo si faccia girare un poco intorno alla verticale passante pel punto ove batte il prolungamento dell'asse; o, se il piano non è mobile, si faccia, senza alterare la distanza, girare un po' il sistema termoscopico, sicché il suo asse riesca obliquo al piano. Nell'un caso e nell'altro, la parte di piano che invia raggi al termoscopio è cresciuta, e tanto più quanto più obliqua è la direzione dell'asse del sistema termoscopico rispetto al piano raggiante. Codesta parte, comunque cresciuta, ha però sempre a proiezione sua la medesima parte di piano che era efficace quando l'asse trovavasi normale al piano. L'esperienza prova che, se questo piano è coperto di nero fumo, qualunque sia la sua inclinazione rispetto all'asse d'irraggiamento, l'indicazione del termoscopio rimane costante. In tal caso adunque la legge sopra enunciata è esatta. Secondo le esperienze di la Provostaye e Desains, la legge medesima non si verifica, se la superficie raggiante è di natura differente

3.^o *L'emissione dei raggi di calore non si fa solo dalle parti superficiali di un corpo, ma anche dalle molecole sottoposte, fino ad una piccola profondità.* Rumford vide che l'emissione da una lamina metallica cresce quando vi si applica un sottile strato di vernice, e cresce ancora quando vi si applica un secondo strato, e un terzo, ecc. finché il complesso non sia giunto ad una certa grossezza. Non si avrebbe questo aumento progressivo se l'emissione si facesse dalla superficie sola. Fourier dimostra che la legge suddetta, per cui il calore emesso è proporzionale al seno dell'angolo che fanno i raggi con la superficie emittente, è una conseguenza necessaria di questo fatto, che la irradiazione move da uno strato di qualche grossezza.

4.^o *La quantità di calore irradiato da un corpo, in un dato tempo, cresce in proporzione più rapida delle differenze fra la sua temperatura e quella dei corpi circostanti.* A pari differenza di temperatura poi, quanto più alta è la temperatura, tanto è più copiosa l'emissione. Queste due leggi furono verificate da Dulong e Petit con una serie di esperienze diligentissime. La legge di Newton, annunciata di sopra (§ 386), non è che un caso particolare di questa legge, e si verifica solo quando l'eccesso di temperatura del corpo irradiante, sulla temperatura dell'ambiente, non supera i 60°.

§ 388. L'attitudine che ha un corpo di emettere, a temperatura data, più o meno calore raggiante per l'unità di superficie, vien detta *facoltà emittente* del corpo. Si chiama poi *potere emittente* di un dato corpo la quantità di calore emessa dall'unità di superficie nell'unità di tempo, quando l'eccesso di temperatura sull'ambiente

è di un grado. A sperimentare questa facoltà nelle diverse sostanze, s'usa la cassetta cubica rappresentata dalla fig. 384, contenente un liquido a temperatura costante, e con le pareti ricoperte da sostanze diverse.

La facoltà emittente varia nei corpi colle loro qualità fisiche o chimiche.

1.^o *In generale la facoltà emittente nei corpi della medesima natura è in ragione reciproca della densità degli strati superficiali.*

L'osservazione di Leslie, che le superficie dello stesso metallo emettono i raggi di calore meglio quando sono scalfite e scabre che, quando son lisce e pulite, fece credere che la facoltà emittente variasse nei corpi d'una medesima sostanza appunto per virtù propria di codeste qualità della superficie, e diventasse tanto maggiore quanto più la superficie fosse ruvida e striata. Melloni invece verificò che, quando il corpo raggianti non è metallico (è per esempio marmo, avorio, ecc.), la scabrezza della superficie non favorisce l'emissione, e che, nelle lamine metalliche ordinarie, la differenza osservata da Leslie proviene dalla differenza di densità delle parti. Nella laminatione dei metalli, la pressione e il condensamento sono maggior alla superficie che altrove, e però lo strato superficiale della lamina risulta più denso degli strati interni, ed oppone difficoltà all'irradiazione. Collo scalfire la superficie della lamina si mettono allo scoperto le parti meno dense interne. Ed invece, quando il metallo è così preparato che nel solcarlo se ne condensano le parti, l'emissione riesce minore a superficie solcata che a liscia. Così fa una lamina di metallo tenero e poco elastico, per esempio di argento puro, ottenuta con la fusione e poi lasciata raffreddare lentamente perchè non incrudisca.

La brunitura dei metalli, che si fa lustrandoli a forte e prolungato sfregamento con un pezzo liscio d'acciaio o di pietra dura o con un dente di cinghiale, diminuisce alquanto la loro facoltà emittente, perchè accresce la densità delle parti nella superficie.

2.^o *Tutti i corpi quando si riducono in polvere aumentano notevolmente nella facoltà emittente:* così nelle polveri metalliche, ottenute per esempio in precipitati chimici, il potere emittente è molto maggiore che nelle lamine di pari natura; però nelle polveri metalliche codesta facoltà è minore che in quella di nero fumo.

3.^o *Varia l'emissione al variare della chimica natura degli strati da cui si fa.*

Quando la superficie metallica liscia della cassetta cubica si copre di nero fumo o di qualche vernice, o si umetta d'acqua o d'olio o d'altro liquido, l'emissione cresce in diverso grado. La facoltà emittente è nel nero fumo maggiore che nell'altre sostanze. Rappresen-

tata quella con 100, si trovano i valori qui notati, presa per fonte di calore l'acqua a 100° nella cassetta:

Nero fumo.	100	Mercurio	20
Carbonato di piombo. 100		Piombo.	19
Creta bianca	100	Ferro	15
Acqua	100	Stagno, argento, rame	12
Carta da scrivere . . .	98	Platino laminato . .	10,74
Vetro comune	90	id. brunito	9,09
Inchiostro della China	85	Argento laminato. .	3,94
Gomma lacca.	72	id. brunito	2,38

I metalli, tra tutti i corpi, hanno la facoltà emittente minima. Si noti che il nero fumo e il carbonato di piombo, che è bianchissimo, hanno la medesima facoltà emittente; ciò prova che, per i raggi termici non superiori a 100°, il colore dei corpi non influisce affatto.

Melloni avendo verificato che la grossezza dello strato emittente è molto diversa nelle diverse sostanze, e maggiore in generale nelle meglio emittenti, reputa che appunto a tal differenza di spessore dello strato attivo debbasi attribuire il vario potere emittente dei corpi. Così colle foglie d'oro ebbe la maggiore emissione dalla più sottile, grossa solo mill. 0,002; mentre con una vernice ambracea, applicata successivamente a più strati sottili, essa andò crescendo fino al sedicesimo strato, quando il loro insieme dava una grossezza di millimetri 0,044.

Riflessione e assorbimento del calore.

§ 389. I raggi termici cadendo su la superficie di un corpo ne vengono in parte riflessi. La riflessione del calore è, come quella della luce, o *regolare* o *irregolare*. Quest'ultima si chiama *diffusione*.

La riflessione regolare dei raggi di calore tiene le medesime leggi che la riflessione della luce (§ 353). 1.° Il raggio riflesso è nel piano del raggio incidente e della normale nel punto d'incidenza; 2.° l'angolo di riflessione è uguale all'angolo d'incidenza.

La dimostrazione si può fare coll'apparecchio di Melloni. Sopra una tavola, che è la base dell'apparecchio, posano due regoli orizzontali (A, B) di ottone, incrociati ad angolo variabile, essendo l'uno (B) girevole al vertice dell'angolo intorno a un asse verticale. Dal regolo fisso (A) sorgono, per appositi sostegni scorrevoli su di esso, la fonte di calore, per esempio una lampada di Locatelli, e due schermi di metallo, uno dei quali è pieno e può rovesciarsi late-

ralmente per una cerniera, mentre l'altro ha un piccolo foro nel mezzo. L'asse, intorno a cui gira il regolo mobile, s'innalza a sostenere il centro di un circolo graduato orizzontale (D) che serve a misurare l'angolo dei regoli; perciocchè lo zero del circolo si trova sulla di-

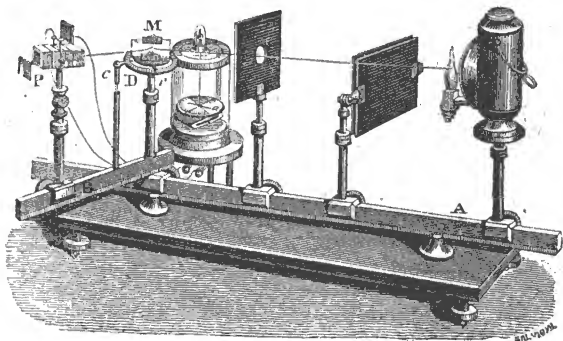


Fig. 390.

rezione del regolo fisso, e una punta (c), che è mobile coll'altro regolo, e lambisce l'orlo del circolo, dà addirittura in gradi l'angolo cercato. Un dischetto orizzontale occupa il mezzo del circolo graduato, e può girare intorno al centro, recando in diverse posizioni uno specchio metallico piano (M) che sorge da un suo diametro. Una lancetta (r) perpendicolare allo specchio corre dal centro fino alla graduazione del circolo. All'estremità del regolo mobile un sostegno regge il termoscopio (P), le cui modificazioni sono indicate dai moti di un ago orizzontale distante (a), sospeso a girare intorno al centro di un altro cerchio graduato.

Rovesciato lateralmente lo schermo pieno, si fa che un fastetto orizzontale di raggi, passando pel foro dell'altro schermo, cada sullo specchio nella verticale che risponde al centro; allora, sollevando od abbassando il termoscopio, e girando lo specchio, si trova che l'ago (a) dà segno che il raggio riflesso batte al termoscopio quando sono verificate insieme queste due condizioni: 1.^o che l'asse del termoscopio sia alla stessa altezza del raggio incidente; 2.^o che la lancetta perpendicolare allo specchio divida appunto per metà l'angolo dei due regoli. Ora la prima condizione manifesta che il raggio riflesso e l'incidente sono in uno stesso piano orizzontale perpendicolare allo specchio, e la seconda che l'angolo di riflessione uguaglia quello di incidenza.

I raggi termici ponno riflettersi mercé gli specchi in egual modo de' raggi luminosi. Così operarono con gli specchi conjugati Scheele e Pictet. Due specchi sferici, o parabolici, concavi, sono disposti a distanza l'uno dall'altro con le concavità che si guardano e con l'asse in una medesima retta. Al fuoco dell'uno si colloca una fonte di calore, per esempio una sferetta solida stata infuocata, oppure una bolla di vetro contenente acqua calda, e al fuoco dell'altro si colloca una bolla termoscopica. Si vede che il termoscopio in questo luogo segna un riscaldamento maggiore che in altro luogo alquanto meno discosto dalla fonte di calore (a). Dunque i raggi termici accolti dallo specchio vicino alla fonte ne sono riflessi parallelamente all'asse, e così cadono sull'altro specchio, dove, riflettendosi di nuovo, convergono al fuoco di questo.

Gli specchi, quando si adoperano a far convenire in breve spazio molti raggi di calore, si dicono *specchi ustorii*, perchè valgono ad abbruciare.

§ 390. Si dice *facoltà riflettente* l'attitudine che hanno i corpi a riflettere una parte più o men grande dei raggi termici che vi batton sopra.

Collocata dirimpetto a un grande specchio sferico la cassetta cu-

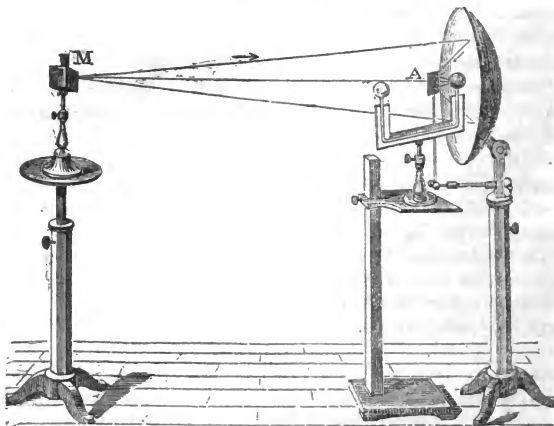


Fig. 391.

(a) Mal si conviene, per codeste delicate prove, l'adoperare, come taluni usano, fonti troppo vive di calore, ponendo, ad esempio, un cestello contenente carboni ardenti nel fuoco d'uno specchio ed un pezzo d'esca che s'accenda nel fuoco conjugato.

bica (M) piena d'acqua a 100°, pongasi, perpendicolare all'asse dello specchio, a ricevere i raggi riflessi, prima che convergano al fuoco, una piccola piastra piana (A) della sostanza da sperimentare; la piastrina rimanda i raggi verso lo specchio a dare il fuoco là dove è una bolla di termoscopio.

Sostituendo nell'apparecchio l'una all'altra di seguito molte piastre di uguale grandezza e di sostanza diversa, e notando le indicazioni del termoscopio per ogni piastra, se ne desumono i rapporti tra le facoltà riflettenti delle varie sostanze; giacchè, essendo costanti le altre condizioni, gli eccessi di temperatura della bolla focale devono stare tra loro, per la legge di Newton, come le facoltà riflettenti delle sostanze stesse.

Serve molto meglio in tali ricerche l'apparecchio di Melloni sovra descritto. Vi si cambia (in M) la sostanza che riflette, e si nota per ciascheduna sostanza l'indicazione termoscopica (in a). Questo apparecchio è tanto squisito, che dà seguiti distinti quando, come fonte di calore, si pone la mano dietro il foro dello schermo.

Le facoltà riflettenti delle varie sostanze sono molto diverse. Ecco i valori di alcune, espressi in centesime parti del calore incidente.

Nero fumo	0	Ferro levigato	77
Carbonato di piombo	0	Acciajo levigato	83
Carta da scrivere	2	Metallo da specchi	86
Vetro comune	10	Ottone battuto, lustro . . .	93
Inchiostro della China . . .	15	Rame battuto	93
Gomma lacca	28	Argento ben lustro	97
Mercurio	77		

I metalli dunque sono i corpi meglio atti a riflettere il calore. All'opposto il nero fumo è privo di facoltà riflettente, qualunque sia l'origine del calore che vi incide.

Bisogna notare però, che la quantità di calore, riflessa da una data superficie, varia col variare dell'angolo d'incidenza.

§ 391. Ogni corpo estingue una parte del calor incidente. La facoltà di estinguerne, ad uguali condizioni, una parte maggiore o minore si dice *facoltà assorbente* dei corpi.

Essa varia da sostanza a sostanza. Cresce al diminuire della facoltà riflettente di cui abbiamo parlato, ma non tanto che la somma del calor riflesso regolarmente e del calore assorbito uguagli la totale quantità del calore incidente. Tal somma è sempre un po' minore di questa quantità, perchè una porzione del calore incidente si dissipa per riflessione irregolare.

La facoltà assorbente di una medesima sostanza varia molto al variare della fonte di calore.

Si copra di nero fumo la metà di un termoscopio e di creta macinata l'altra metà, e si esponga a diverse fonti (§ 384) la parte coperta di nero fumo, variando la distanza, onde l'indicazione sia sempre la medesima. Rappresentata con 100 questa indicazione costante, che dipende dalla facoltà assorbente del nero fumo, si trova che, quando si volge alle fonti di calore la parte coperta di creta, le indicazioni del medesimo termoscopio, le quali dipendono allora dalla facoltà assorbente della creta, sono rappresentate da:

56,6 per la lampada di Locatelli,
 65,3 per il platino incandescente,
 83,8 per il rame a 400°,
 96,3 per il rame a 100°.

L'esempio mostra che le facoltà assorbenti della creta e del nero fumo, assai diverse per il calor irradiato dalla fiamma, differiscono sempre meno l'una dall'altra per il calore irradiato da fonti a temperatura meno alta, e si riducono quasi eguali per quello di fonte a 100°.

Si abbia una serie di sottili dischetti di cartone o di metallo; si copra una faccia di tutti con nero fumo, e l'altra faccia con soluzioni o vernici diverse per ogni disco. Poi si collochino, uno per volta, a coprire l'apertura della custodia del termoscopio con la faccia annerita rivolta all'istrumento, e intanto cada sull'altra faccia il calor d'una fonte. Le indicazioni del termoscopio dipendono qui in gran parte dalla facoltà assorbente delle sostanze che coprono le faccie esposte alla fonte.

Ecco i risultamenti ottenuti da Melloni con questo metodo applicato a 5 sostanze e ad altrettante fonti, poste a distanze diverse, perchè il calor incidente fosse per tutte di egual forza.

	Lamp. di Argant.	Lamp. di Locatelli	Platino rovente	Metallo a 400°	Acqua bollente
Nero fumo . . .	100	100	100	100	100
Carbon. piombico.	24	53	56	89	100
Colla di pesce. .	45	52	54	64	91
Inchiostro cinese	100	96	95	87	85
Gomma lacca . .	80	43	47	70	72
Superfi. mettalica	17	14	13.5	13	13

Si vede che tra le sostanze cimentate il nero fumo ha la facoltà assorbente massima, i metalli hanno la minima. Questi serbano quasi

costante, come il nero fumo, la facoltà di assorbire il calore delle varie sorgenti. Non così le altre sostanze; per esempio il carbonato di piombo esposto ai raggi di egual forza, ma di origine diversa, può prendere temperature che stanno press'a poco tra loro come 100 a 24. Inoltre per queste sostanze la facoltà stessa va crescendo col diminuire della temperatura della fonte; laddove per l'inchiostro della China accade l'opposto.

Gli esempi addotti provano già che i raggi di una fonte non sono tutti eguali ai raggi di un'altra, poichè non si comportano egualmente rispetto ad una medesima sostanza. Vedremo quanto prima parecchi fatti che confermano questa deduzione.

S'è detto sopra che la superficie del termoscopio nelle esperienze sul calor raggianti dev'essere coperta di nero fumo, onde tutti i raggi incidenti concorrano secondo la loro forza a muovere l'indice, poichè il nero fumo assorbe nella medesima proporzione i raggi di calore egualmente intensi, qualunque origine essi abbiano.

§ 392. Il confronto delle due serie di corpi disposti nell'ordine con cui diminuisce la facoltà emittente (§ 387), e nell'ordine con cui cresce la facoltà riflettente (§ 389) mostra che i corpi, i quali emettono meglio il calore, sono pur quelli che riflettono una dose minore del calore che li investe, ossia ne assorbono una quantità maggiore. Anzi codeste due facoltà hanno proprio un medesimo valore numerico, secondo che provarono Dulong e Petit.

Si copre la bolla di un termometro con quella sostanza la cui facoltà emittente ed assorbente voglionsi paragonare tra loro, e, scaldata la bolla ad una certa temperatura, la si colloca nel centro di un pallone di metallo, che è tutto coperto sulla superficie interna d'uno strato di nero fumo, e nel quale si può fare il vuoto. Il cannello del termometro esce dal pallone a mostrare le variazioni della temperatura. Si immerge il pallone in un bagno a temperatura costante. Il bagno sia, per esempio, a 0° ed il termometro a 10° . Si fa rapidamente il vuoto nel pallone: il termometro emette calore. Quando è disceso a 5° , si esplora con che rapidità si raffredda, osservandolo ad eguali intervalli di tempo. Dalla serie decrescente delle temperature così notate si desume la perdita di calore fatta dal termometro in un breve istante, per esempio $\frac{1}{100}$ di secondo, partendo dal

momento che la temperatura era a 5° ; perdita che è proporzionale alla facoltà emittente della sostanza che copre il bulbo.

Si ripete lo sperimento col bagno a 20° e il termometro a 0° ; il termometro in questo caso assorbe calore; quando è salito a 5° si comincia a notare la serie crescente delle temperature ad uguali in-

tervallî di tempo, e dalla serie si desume l'acquisto di calore fatto dal termometro in $\frac{1}{100}$ di secondo, dal momento che la temperatura era a 5°; il quale acquisto è proporzionale alla facoltà assorbente della sostanza che copre il bulbo.

Si trova che quella perdita e questo acquisto hanno valori eguali. L'eguaglianza dei due valori si mantiene per tutte le sostanze cimentate, e per differenze di temperature ben più grandi che le sudette.

Dunque la facoltà assorbente di un corpo ha lo stesso valore che la facoltà emittente. Anzi queste due facoltà rispondono ad una unica proprietà, la quale può denominarsi conduttività superficiale de' corpi pel calor radiante.

Alcune esperienze, fatte da Nobili e da Melloni, dimostrano che, a pari condizioni di calore e di stato della superficie, *la conduttività superficiale dei corpi pel calor radiante è tanto maggiore, quanto è minore la loro conduttività interna pel calore comunicantesi da molecola a molecola* (§ 182).

I due fisici, prese alcune stoffe bianche, di cartone, di seta, di lana, di canape, di lino, tutte eguali nella grossezza dei fili, nel tessuto e nell'aspetto, ed applicatele con gomma ad altrettanti dischi, le sospesero egualmente per pochi istanti ai raggi del sole. Indi cimentarono la loro irradiazione al termoscopio, e trovarono che, rispetto a questa, e però anche alla facoltà assorbente, le sostanze sono così ordinate dalla maggiore facoltà emittente alla minore: seta, lana, cotone, lino e canape, cioè proprio nell'ordine inverso della loro conduttività termica interna. Fecero la prova con fogli di metalli diversi a pulitura eguale nella faccia assorbente, ed ebbero la gradazione: piombo, stagno, ferro, acciaio, oro, argento, rame, che in complesso è inversa della gradazione di conduttività interna. I legni, che sono peggio conduttori dei minerali, mostrarono di assorbire il calore meglio di questi.

Dai premessi fatti sgorgano facili le applicazioni ai vari artifici coi quali si favorisce la conservazione o la dissipazione del calore ne' corpi, e le spiegazioni di parecchi fenomeni naturali.

Trasmissione e rifrazione del calore.

§ 393. Melloni giunse a dimostrare che il calor raggiante si trasmette attraverso ai corpi solidi e liquidi, serbando nell'interno di essi le sue proprietà caratteristiche principali, che sono di procedere 1.^o in linea retta, 2.^o con grande velocità, 3.^o senza che il moto dei corpi possa alterare le sue condizioni. In questi sperimenti bisogna

avvertire che i corpi adoperati, scaldandosi più o meno pei raggi che vi entrano, irradiano calore anch'essi, come fonti secondarie, e quindi bisogna sceverare i raggi *trasmessi* dai corpi da quelli che sono *emessi* da loro per il riscaldamento.

Siavi uno schermo verticale metallico (di sezione orizzontale MN, con un piccolo foro). Al di là dello schermo, e a piccola distanza, si trovi sull'asse del foro una fonte di calore (F); al di quà, pure sull'asse, il termoscopio (T), ed anche, poco discosto dal foro, una lamina solida (AB) che riceva i raggi passati pel foro. Supporremo che questa lamina si lasci attraversare da una parte di essi. I raggi trasmessi dalla lamina, seguendo il loro diritto cammino, batteranno al termoscopio, e vi produrranno un certo effetto. Intanto la lamina (AB), scaldandosi per assorbimento, emetterà essa medesima nuovi raggi tutto all'ingiro come fonte secondaria, e alcuni di questi, venuti al termoscopio, aggiungeranno all'effetto dei raggi della fonte primaria trasmessi dalla lamina. Ora si faccia scorrere il termoscopio per un poco d'arco (TT') intorno al centro (C) della lamina, in modo che l'asse dello stromento sia sempre rivolto a quel centro. Nella nuova posizione lo strumento, sottratto ai raggi della fonte primaria, segnerà l'effetto di quelli della secondaria. Dall'effetto composto di poc'anzi togliendo questo parziale della fonte secondaria, resta l'effetto della primaria.

Per vedere poi se questi raggi termici, nell'attraversare la lamina, corrono velocissimi dall'una all'altra faccia, basta troncare la via dei raggi con uno schermo, prima al di quà poi al di là della lamina. Ad ogni volta si tolga lo schermo e si misuri il tempo impiegato dall'ago a fare la prima escursione, si vedrà che i tempi nei due casi sono eguali.

Infine a certificarsi che il moto della lamina non altera le condizioni del calor trasmesso, essendo la lamina grande, quando l'indice del termoscopio si è fissato in equilibrio a un segno, la si faccia scorrere a recare parti sempre diverse in corrispondenza del foro, e si osservi se l'indice si mantenga al segno cui fu condotto in prima dal calore trasmesso. Le prove eseguite con diligenza confermano



Fig. 352

sempre queste due proprietà, sia che si adoperi con lamine solide o con istrati di liquido custoditi fra le pareti solide, sia che con fonti di temperatura elevata o bassa.

Il calore dunque si propaga per taluni solidi e liquidi non solo successivamente da strato a strato, ma anche immediatamente e in forma di raggi che attraversano tutta l'estensione del mezzo in linea retta e con grande velocità.

§ 394. L'apparecchio di Melloni ben si presta anche ad eseguire le esperienze di trasmissione. In luogo della lamina che riflette, si pone sul sostegno, parallela e molto vicina allo schermo forato, la lamina che trasmette i raggi; anzi questa può applicarsi immediatamente sullo schermo a chiudere il foro. Il regolo mobile si raddrizza lungo

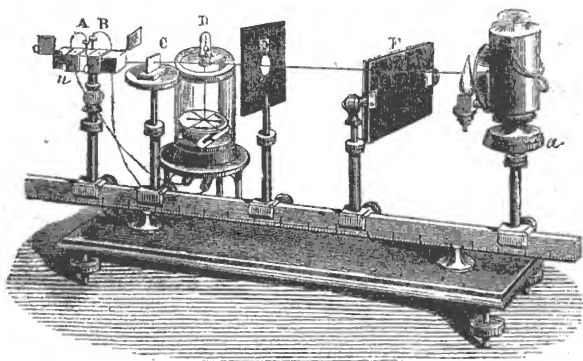


Fig. 393.

il fisso a recare l'asse del termoscopio nell'asse medesimo della radiazione. Le diverse fonti di calore, si dispongono a distanze diverse dal termoscopio, tali che ciascuna fonte produca per la sua irradiazione libera, cioè senza lamina di mezzo, una deviazione stabile di 30° . Così, la radiazione efficace essendo pari in *quantità* per le diverse fonti, riesciranno meglio esplicitate le differenze di *qualità* che occorresse di notare nei raggi. Si cimentano a ciascuna fonte più lamine diverse, una ad una, e si osserva a che grado sotto 30° si riduce la deviazione dell'indice ad ogni volta.

§ 395. *I raggi di calore, nel passare da un mezzo ad un altro, si rifrangono come i raggi di luce (§ 360).*

Nell'apparecchio di Melloni si collochi sul sostegno (C) un prisma

di salgemma e si esplori la direzione del fascetto di calore trasmesso. Nelle diverse prove si osserva che questo fascetto piega alquanto dalla direzione d'incidenza, e piega più o meno, come vogliono l'angolo rifrangente del prisma e l'angolo di incidenza, giusta le norme della rifrazione della luce. I raggi di calore non si rifrangono tutti egualmente; pare che le leggi del fenomeno siano le medesime, e l'indice di rifrazione in generale non sia guari minore che nella luce.

Come vi è una rifrazione dei raggi termici, così vi deve pur essere una *riflessione totale*; e l'esperienza conferma la cosa. Di qui si vede che vuolsi aver riguardo alle obliquità delle incidenze quando si esplorano le facoltà dei mezzi a trasmettere le radiazioni termiche.

Transcalescenza e termocrosi.

§ 396. *La quantità di calore trasmessa dai corpi è tanto maggiore quanto meglio levigata è la superficie su cui si fa l'incidenza.*

Melloni cimentò più lamine di vetro egualmente grosse e cavate da una medesima lastra, le quali erano l'una ben levigata e le altre sfregate con sabbia, smeriglio, ecc., e vide variare i segni della trasmissione da 19° a 5° del suo termoscopio.

Sperimentando poi con un gran numero di lamine solide e liquide di diversa natura, il Melloni trovò che *la attitudine dei diversi corpi a trasmettere i raggi termici non ha alcun rapporto col grado di trasparenza e con la tinta*. Certi corpi d'una tinta carica trasmettono il calore molto meglio che altri limpidissimi.

Alcuni corpi affatto opachi si lasciano attraversare da raggi di calore di varie fonti. Il vetro nero, la mica nera, e il salgemma, presi in lamine abbastanza grosse per troncare il corso ad ogni luce, danno passo ai raggi delle prime tre fonti del quadro nella proporzione di $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{3}$ ed anche $\frac{1}{2}$ della quantità incidente. Questo è un fatto importantissimo che palesa una somiglianza tra l'unica fonte celeste di calore a noi nota, il sole, e le fonti luminose terrestri di calore.

Poiché nei corpi la trasmissione del calore non ha rapporto alcuno con la trasmissione della luce, è d'uopo di nomi appositi che dicano rispetto al calore ciò che dicono rispetto alla luce i nomi di trasparenza ed opacità. Melloni chiama *transcalescenza* o *diatermasia* (*διὰ* per, a traverso, e *θερμῶς* scaldare) la trasparenza per il calore, *adiatermasia* (α privativa e *διαθερμῶσις*) l'opacità per il calore; quindi appella *diatermico* un corpo dotato di diatermasia, *adiatermico* un corpo che ne è privo.

Il complesso delle osservazioni mostra che *il fenomeno della diatermasia non dipende nè dalle diverse forme cristalline, nè dalla facilità o dalla regolarità dei clivaggi, nè dalla costituzione solida o fluida dei corpi, nè da una particolare composizione chimica di essi*. La diatermasia non è un fenomeno speciale che si attenga a questo o a quello stato della materia, *ma è fenomeno generico non altrimenti che la trasparenza*.

Le varie sostanze non solo trasmettono in proporzione diversa i raggi di calore, ma non serbano il medesimo ordine circa la quantità del calore trasmesso al variare delle fonti. Non si può dunque formare un'unica serie graduale delle sostanze giusta l'ordine della loro facoltà di trasmettere il calore d'ogni sorgente; bisogna formare la serie per ciascuna sorgente particolare.

Knoblauch dimostrò che la trasmissione dei raggi termici può crescere quando pure la temperatura della fonte si abbassi. Melloni ripeté ed estese le sperienze del fisico prussiano e formò questo quadro.

SOSTANZE TRASMITTENTI	Gros- srezza in millimetri	Valori delle trasmissioni in centesimi della radiaz. ^e incid. ^e		
		fiamma d'alcole	platino incandesc.	fiamma d'olio
Vetro incolore	0,88	41,2	52,8	70,6
idem	8,71	5,7	26,2	40,7
Selenite	0,85	4,4	19,5	27,8
idem	7,82	1,7	3,5	11,2
Allume	4,47	0,9	1,8	7,7
Mica giallognola	0,38	63,9	62,4	78,8
Solfo	6,02	69,2	65,6	63,3
Vetro nero	0,62	52,6	42,8	37,9
idem	1,84	29,9	27,1	25,3
Mica nera	0,19	62,8	52,5	43,8
idem	0,28	43,9	28,9	24,4

Qui sono due gruppi di fatti, dati l'uno dai primi cinque corpi, in quanto che trasmettono in copia maggiore le radiazioni del platino incandescente che quelle della fiamma d'alcole; e l'altro dai corpi successivi, in quanto che trasmettono meglio i raggi della fiamma d'alcole che del platino incandescente. Ora, sia che la fiamma d'alcole, com'è probabile, abbia temperatura più alta che il platino incandescente, sia il contrario, sta sempre che quando si passa da questa

fonte a quella, in certi corpi la trasmissione delle radiazioni cresce e in certi altri diminuisce. Tali variazioni, appunto perchè di contrario segno, pongono fuor d'ogni dubbio che la quantità del calore trasmesso non cresce *necessariamente* con la temperatura della fonte, ma sonvi dei casi in cui diminuisce. I fatti ripetonsi alla stessa maniera quando si passa dalla fiamma d'alcole alla fiamma d'olio.

Ora non deve più far meraviglia che certi solidi trasmettano i raggi delle fonti a bassissima temperatura. Il salgemma, lo spato fluoro e lo zolfo lasciano passare anche raggi delle fonti oscure. Questa proprietà i detti tre corpi la mantengono per fonti di temperatura molto più bassa: il calore della mano posta a qualche distanza da lamine, benchè grosse, di tali corpi vi transita in copia; eppure è totalmente arrestato da lamine molto più sottili di cristallo di rocca, di allume, di vetro, o d'altro corpo diatermico a sorgenti di alta temperatura.

Una medesima lamina di salgemma limpido, qualunque ne sia la grossezza, se viene esposta di seguito a fonti diverse, trasmette il calore sempre in eguale proporzione.

§ 397. Cotesta proprietà del salgemma ha molta importanza. Infatti, se raggi calorifici a diverse temperature si trasmettono egualmente a traverso un dato corpo solido, bisogna dire che una vera differenza essenziale non esiste fra essi; è certo anzi che essi possiedono un carattere comune, il quale appunto si manifesta colla loro trasmissibilità. Ma se ora osserviamo che, a traverso altre sostanze, i raggi provenienti da fonti diverse si trasmettono in proporzioni varie, è ragionevole il pensare che tali differenze dipendano da qualità specifiche dei singoli raggi, le quali accompagnano il carattere generale, e modificano, senza distruggerlo, il fenomeno della trasmissione. Queste qualità specifiche devono essere analoghe a quelle dei raggi di luce a diverso colore.

Come i varii corpi trasparenti colorati assorbono la luce di un tal colore e lasciano passare la luce di un tal altro, così il vetro e le altre sostanze trattengono i raggi termici d'una qualità e lasciano passare quelli di un'altra. I corpi a temperatura più o meno alta sono dunque tante sorgenti di radiazioni a dir così *colorate*. Il vetro e le altre sostanze trasmettono in proporzioni diverse questi raggi, e però sono tanti mezzi colorati rispetto al calore; il salgemma poi è un mezzo incolore che dà passaggio in eguale proporzione ad ogni sorta di calore colorato.

Melloni intende di ravvicinare così due ordini di fenomeni, tra i quali già si palesa una certa analogia. Perciò chiama *termocrosi* colorazione del calore (da *θερμὸν* calore e *χρῶσις* colorazione) la proprietà sì dei raggi termici come dei corpi, che è analoga alla colo-

razione dei raggi di luce e dei corpi, *atermocrosi* la proprietà che corrisponde alla assenza di colorazione; appella *termocroico* un corpo od una radiazione di calore che abbia termocrosi, *atermocroico* un corpo od una radiazione senza termocrosi (a).

Il salgemma è tra i solidi e i liquidi il solo corpo atermocroico noto; gli altri corpi sono termocroici tutti. I raggi di calore entrati in uno qualunque di essi vi fanno presto molta perdita, onde la loro intensità decresce rapidamente nei primi strati, ma in seguito la perdita diminuisce e i raggi procedono rimettendo poco di forza. A lamine sottili si hanno trasmissioni di certe specie di raggi che a grossezze maggiori svaniscono. Riesce anche di invertire l'ordine della diatermasia di due corpi, sol che uno si assottigli. Per esempio la selenite, che trasmette i raggi delle quattro fonti normali molto meno del vetro, quando la grossezza di ambedue è millimetri 2,6, li trasmette molto di più del vetro quando la grossezza è minore di millimetri 0,4.

Pertanto le azioni che tolgono il corso alle diverse specie di raggi si esercitano non alla superficie dei corpi diatermici, ma nell'interno di essi per assorbimento.

Se tal conclusione è vera, dovrà succedere che, a un certo segno di sottigliezza delle lamine, gli effetti di termocrosi diventino insensibili e la trasmissione riesca costante per tutte le sostanze, e pari a quella del salgemma. Le prove fatte con foglioline di mica esposte a diverse fonti di calore danno trasmissioni che si avvicinano tra loro e si accostano a quella costante del salgemma.

Una lamina di vetro verde ed una lamina di allume, che sono permeabili ciascuna ai raggi del calore, danno riunite una coppia adia-termica. Accade lo stesso col vetro verde accoppiato coll'acqua: e sì l'allume come l'acqua, accoppiati a una lamina di mica nera o di vetro nero, formano sistemi adia-termici. L'interrompere i raggi come fanno codeste coppie di corpi, è segno che essi operano come fossero colorati rispetto al calore, ossia che sono termocroici.

Melloni si accertò che la termocrosi varia, non solo da un mezzo a un altro, ma anche nello stesso mezzo al variare della grossezza, quando però si passi da una piccolissima grossezza ad una grande.

Si è veduto che il salgemma è tra i solidi e i liquidi il solo corpo per cui passano con eguale facilità i raggi di calore d'ogni specie. Negli altri solidi e liquidi la termocrosi è molto svariata.

(a) Come pei raggi luminosi il vario colorito è correlativo alla varia loro refrangibilità, così è da credere che la termocrosi esprima soltanto la varia refrangibilità dei raggi termici, i quali pure, come vedremo fra poco, sono inegualmente ripartiti nello spettro.

I metalli anche in lamine sottili non trasmettono il calore raggiante, ma non si vuole inferirne che i metalli sieno assolutamente adiatermici.

I fluidi espansibili sono i corpi meglio diatermici. Uno strato d'aria anche grosso può dirsi che lascia passare tutti i raggi. Ne fan prova gli esperimenti che verificano la legge della variazione d'intensità del calore raggiante al variare della distanza dalla fonte (§ 385).

Assai importanti sono su quest'argomento gli studii di Tyndall. Egli trovò che, mentre i gas semplici e la stessa aria sono assai transcalescenti, i gas composti offrono un notevole potere estinguente de' raggi termici; altrettanto fanno i vapori, e più le essenze odorose, una tenue quantità delle quali basta a modificare grandemente la transcalescenza dell'aria. Ecco alcuni dati sul potere assorbente relativo di varii fluidi aeriformi, presa per unità la facoltà assorbente dell'aria secca.

Gas.

Ossigeno	1	Protossido d'azoto . . .	1500
Azoto.	1	Acido nitroso.	1800
Idrogeno.	1	Solfuro d'idrogeno. . .	2100
Ossido di carbonio. . .	750	Ammoniaca	5460
Acido carbonico. . . .	972	Gas oleifico	6030
» cloridrico. : . . .	1000	Acido solforoso	1000

Vapori.

Bisolfuro di carbonio. .	2820	Etere etilico.	26400
Benzina.	8160	» formico	32880
Amileno.	19260	» acetico.	26720

Anche le esperienze del prof. Garibaldi confermarono la debolissima transcalescenza dei gas composti e la quasi atermicità del vapor acqueo per le radiazioni a bassa temperatura. Da qui una notevole influenza esercitata dal vapor acqueo atmosferico per rallentare la radiazione termica della superficie terrestre attraverso l'atmosfera.

Tyndall ha poi verificato coi gas composti un effetto analogo a quello dei vapori metallici (pag. 705), poichè, ad esempio, i raggi termici mossi dall'acido carbonico incandescente vengono in particolar modo estinti dallo stesso gas a bassa temperatura. Anche qui si conferma la corrispondenza tra il poter emittente ed il poter assorbente (§ 392), cioè tra le facoltà di promuovere e di estinguere vibrazioni termiche corrispondenti a dati valori di rifrangibilità o meglio a dati ritmi di vibrazioni.

Tyndall giunse anche a provare che i raggi termici oscuri possono, in date condizioni, divenir fonte di luce. Mediante un prisma di salgemma si può ottenere uno spettro il quale contiene, insieme alle radiazioni luminose, anche le radiazioni termiche in gran copia. Se un tal spettro termo-luminoso si fa passare attraverso una soluzione di jodio nel solfuro di carbonio, la quale è ben diatermica, ma perfettamente opaca per la luce, si ottiene isolato lo spettro termico: allora le zone di minor rifrangibilità di questo valgono a riscaldare ed anche ad infiammare prestamente la carta ed il legno tagliato in lamine sottili, a fondere in breve lamine di piombo, di stagno e di zinco, ed a rendere incandescente una lamina di platino, se queste lamine son prima tinte con nero fumo.

§ 398. Alla superficie di ogni corpo su cui incidano i raggi termici, oltre la riflessione regolare, si fa una riflessione irregolare, chiamata *diffusione*, per cui una parte dei raggi viene rimandata da ogni punto della superficie in tutte le direzioni.

Anche questo fenomeno si può dimostrare coll'apparecchio di Meloni. Un disco di legno, che ha una faccia coperta di vernice bianca e l'altra di nero fumo, si colloca verticale sul sostegno a ricevere obliquamente i raggi della fonte sulla faccia bianca. Si volge a questa faccia il termoscopio munito del tubo collettore, e si pone una lamina di vetro fra il disco e il termoscopio. Lo strumento dà forte segno, che vuolsi attribuire a raggi diffusi dalla bianca superficie del disco, i quali, al pari dei raggi incidenti su di esso, ponno attraversare il vetro. Rivolto il disco a ricevere i raggi sulla faccia tinta di nero fumo, il termoscopio dà un segno piccolissimo per la debolissima diffusione del nero fumo.

Si trova che la diffusione è eguale in tutte le direzioni, ed ha una intensità variabile in generale al variare della specie dei raggi incidenti.

Anche dalla superficie liscia delle sostanze diatermiche v'è diffusione, comechè assai debole; questa cresce molto se la superficie si fa scabra. Un'altra diffusione simile si ha pure alla superficie di emergenza, quando sia scabra. Il salgemma, se scabro, diffonde il calore; se liscio ed affumicato, trasmette il calore assai meno che quando è limpido, ma ne diffonde pochissimo.

La diffusione delle radiazioni, quale avviene alla superficie della carta, e in genere dei corpi non suscettivi di pulimento, è ben altra cosa dalla riflessione regolare data dai metalli puliti. Questa, per un certo corpo e a certa incidenza, si effettua sempre con eguale energia per ogni specie di raggi; quella, al contrario, al variare della specie di raggi è variabile tanto, che talvolta riesce totale, talvolta insensibile. I metalli tersi e puri, e meglio se bolliti nel bianchi-

netto, danno una diffusione forte, che è eguale per ogni sorta di raggi.

Dunque per la diffusione del calore si ha una colorazione invisibile dei corpi, come per la diffusione della luce si ha la colorazione visibile. Vi è, cioè, una termocrosi dei corpi anche per diffusione. Melloni chiama *leucotermico* (λευκός; bianco), oppure *melanotermico* (μελας; nero) un corpo adiatermico che sia bianco oppure nero rispetto al calore, cioè che diffonda egualmente ogni specie di raggi termici, oppure non ne diffonda in modo sensibile.

Di qui s'intende perchè il potere dei corpi di riflettere regolarmente il calore sia in ragione inversa esatta dell'assorbente (§ 391).

§ 399. I fenomeni ora esposti ricevono una plausibile spiegazione, ove si ammetta, come si disse più sopra, che i singoli raggi di calore siano dotati di proprietà speciali, analogamente ai raggi luminosi. Un fascio di raggi termici, provenienti da una data fonte calorifica, non desesi considerare come un complesso di raggi identici, ma bensì come un aggregato di radiazioni diversamente colorate. La termocrosi dei raggi è quella che dà ragione della termocrosi dei corpi. Ogni fonte di calore, e luminosa e oscura, manda raggi termici di molte specie diverse, e noi li possiamo distinguere gli uni dagli altri appunto per le differenze che presentano sia nell'innoltrarsi più o meno dentro le varie sostanze, sia nel diffondersi dalla superficie di esse.

Quando una radiazione calorica entra in un mezzo, questo non trattiene già una certa frazione di tutti i raggi, ma trattiene quelle specie di raggi, la cui termocrosi non si accorda con la termocrosi sua propria. La qualità dei raggi, che vengono trattiene, dipende adunque dalla qualità del corpo e dalla qualità dei raggi entrati. L'azione elettiva, onde sono trattiene nei corpi i raggi termici, è simile a quella che determina l'assorbimento dei raggi diversi di luce nei corpi diafani colorati. E tale azione, sì per il calore come per la luce, è molto più efficace presso la superficie di adito che non a certa profondità; essa opera quivi quasi una cernita, trattiene alcuni raggi di calore o di luce e lasciando passare gli altri, i quali così sceverati vanno poi innanzi senza toccare perdite forti.

Si credeva un tempo che lungo lo spettro solare l'intensità del calore seguisse le medesime variazioni che l'intensità della luce, e fosse quindi la massima temperatura nel giallo presso il confine coll'aranciato, dove la luce dello spettro è più viva (pag. 704). Ma Herschel nel 1800 trovò che vi sono raggi di calore anche al di là dell'estremità rossa dello spettro, e che anzi la temperatura più elevata è nello spazio oscuro prossimo al limite del rosso. Lo spettro esplorato da lui era dato da un prisma di flint inglese. Seebeck in seguito avvertì che il luogo della temperatura massima cangia al

cangiare della sostanza del prisma: cade nel rosso quando il prisma è di crown, nell'arancio quando è di alcole o di acido solforico, passa nel giallo quando è di acqua.

Melloni, analizzando lo spettro solare, pose fuor d'ogni dubbio che la variazione di luogo del massimo di temperatura osservata da Seebeck e da altri è dovuta ai raggi termici oscuri, i quali, per la diversa termocrosi dei prismi e per la costituzione composta dello spettro, vengono ad essere alterati e variamente distribuiti per entro le zone colorate. I raggi che sono luminosi insieme e calorifici non contribuiscono punto alla variazione. Infatti, col restringere la larghezza del prisma esposto alla luce incidente, si può escludere dalle zone luminose il calore oscuro, e allora si trova che la distribuzione del calore lungo lo spettro rimane costante qualunque sia la termocrosi del prisma limpido. Nello spettro ottenuto da una fetta prismatica di salgemma non più larga di 5 o 6 millimetri, ed esplorato a 1 metro di distanza da quella con un termoscopio largo 1 millimetro, l'elevazione di temperatura è appena sensibile alla estremità violetta; va crescendo poco a poco sull'indaco e sull'azzurro, dove è piccola tuttavia; al di là dell'azzurro si fa un po' maggiore; sul giallo, sull'aranciato, sul rosso cresce assai, e tocca il valore massimo nell'ultimo confine del rosso. La differenza di temperatura fra i raggi violetti, indachi, azzurri e verdidi una parte, e i gialli, aranciati, rossi dall'altra, è tanto grande, che i primi raggi si può dire siano freddi al paragone dei secondi; al di là del rosso la temperatura cresce ancora notabilmente per qualche tratto.

Posteriormente Muller e Tyndall si occuparono di determinare

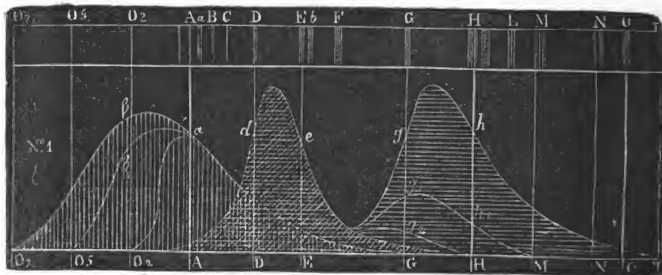


Fig. 394.

con molta cura l'intensità relativa dei raggi termici nello spettro. Nella annessa figura l'area segnata coi tratti verticali corrisponde

ai limiti della curva dei raggi calorifici, mentre l'area di mezzo segnata coi tratti inclinati indica l'intensità relativa dei raggi luminosi secondo Fraunhofer (pag. 704), e quella segnata coi tratti orizzontali indica l'intensità relativa dei raggi chimici. Anche l'area dei raggi termici venne qui suddivisa in 7 gruppi: O_1 , O_2 , O_3 , ecc., analogamente a quanto suolsi per lo spettro luminoso. Giova notare tuttavia, che l'effetto calorifico delle radiazioni di una data rifrangibilità pare dipenda anche dalla natura del corpo termoscopico. Budde trovò che il gas cloro si dilata maggiormente sotto l'azione delle radiazioni violette che nella parte gialla dello spettro.

§ 400. I raggi chimici, più operosi verso il violetto estremo, vennero avvertiti da Scheele (1871) in quanto annerivano di preferenza il cloruro d'argento. Wollaston verificò che essi si estendono ben oltre il violetto visibile, ed Ed. Becquerel riconobbe anche tra essi varii gruppi di righe o lacune. Questi raggi chimici sono perciò, in generale, dotati di maggiore rifrangibilità de' raggi luminosi.

Essi ingenerano altresì una luce fosforescente su alcune sostanze, come il vetro d'uranio, le soluzioni di curcuma, di guaiaco, di esculina, di bisolfato di chinina; le quali sostanze, esercitando uno speciale assorbimento sui raggi più rifrangibili, v'inducono una trasformazione, onde questi son resi visibili, ed allora meglio si scorgono le lacune o linee curve.

Anche i raggi chimici ponno trapassare quasi integri alcuni liquidi, come l'acqua, l'alcole e l'acido solforico, mentre son rattenuti di preferenza da altri liquidi, quali l'acido nitrico, le essenze di cedro e di mandorle amare, ed il solfato di chinina.

Reciproco raggiamento termico tra' corpi.

§ 401. Ogni corpo, in quanto manifesta una data temperatura, può esser considerato quale una fonte di calore rispetto agli altri che gli stanno intorno, giacchè tende a modificare in più la temperatura d'ognuno di essi. Qualora però parecchi corpi posti ad apparente contatto, od a non molta distanza tra loro, così che si influenzino scambievolmente in tal senso, serbano inalterate le rispettive temperature, suol dirsi che codesti corpi sono in equilibrio di temperatura, o, in altre parole, che le loro temperature sono eguali. Quando invece la temperatura varia in ciascun d'essi, segno è che le temperature loro sono differenti, ed allora essi agiscono scambievolmente gli uni sugli altri, per modo da diminuire sempre più le differenze tra le loro temperature, ed, in altre parole, essi tendono a raggiungere un'egual temperatura. E ciò mediante un reciproco e continuo

ricambio di calore, così a contatto come a distanza, per quantità proporzionali alle rispettive loro temperature ed alle loro caloricità specifiche. Però il tempo necessario al ridurre insensibili le differenze di temperature tra più corpi, oltre che da codeste due condizioni, dipende anche da altre non poche, tra le quali vanno distinte le seguenti: conduttività termica, così superficiale (§ 392) come interna (§ 182), di tali corpi; loro volume relativo e varia loro figura; distanze che intercedono fra di essi, e qualità fisiche del mezzo che li involge.

§ 402. Quando un involucro che chiude uno spazio ha le sue pareti egualmente calde, le quantità di calore che passano nel medesimo tempo per i diversi punti di questo spazio sono tutte eguali tra loro, e però un termometro segna la medesima temperatura in qualunque luogo si collochi di esso spazio. E ciò sussiste per ogni grandezza ed ogni forma dell'involucro, per ogni facoltà riflettente o assorbente delle pareti, e tanto se queste facoltà sono le stesse in ogni parte, quanto se diverse nelle varie parti. L'unica condizione richiesta è l'eguaglianza di temperatura delle pareti.

In una camera a temperatura uniforme abbiassi un termometro in equilibrio. Si metta a qualche distanza da esso un pezzo di ghiaccio od una mescolanza frigorifica; il termometro dà qualche segno di abbassamento. Se dopo si prendono due grandi specchi concavi e si dispongono in guisa che il fuoco dell'uno cada alla bolla del termometro e il fuoco dell'altro al pezzo di ghiaccio, e le concavità degli specchi si prospettino e gli assi di entrambi siano in una medesima retta, vedesi crescere di molto l'abbassamento al termometro.

Poichè, posto in prima il pezzo di ghiaccio senza gli specchi, la bolla si raffredda per gli scambi ineguali di calore ch'essa fa col ghiaccio, ma si raffredda poco, perchè il pezzo di ghiaccio è piccolo e lontano. Collocati poi i due specchi, avviene che questi, e principalmente il più vicino alla bolla, trattengono col loro dorso molti raggi calorifici che, dai corpi e dalle pareti al di là, sono diretti verso la bolla e che prima cadevano su di essa; e invece di tali raggi gli specchi rivolgono sulla bolla i raggi di calore partiti dal ghiaccio, i quali sono molto meno intensi dei trattieneuti, perchè provengono da un corpo assai più freddo che i corpi circostanti e le pareti. La bolla del termometro dal canto suo, anche dopo collocati gli specchi, emette in sulle prime la medesima quantità di calore che innanzi. Così la presenza dei due specchi impedisce molti raggi, che non passino alla bolla, onde alla bolla si minora l'assorbimento, mentre la emissione resta quale era: il termometro deve dunque discendere.

Un corpo ottimo conduttore del calore sia isolato nell'aria tran-

quilla, ed i corpi all'ingiro abbiano temperatura uniforme e costante. La temperatura in quel corpo sia più alta che in questi. Il corpo si va raffreddando per l'azione combinata di due cause: l'irradiazione, e il contatto dell'aria.

Dulong e Petit fecero sul raffreddamento una bella serie di esperienze, trovando a parte l'effetto della sola irradiazione, e dell'azione di vari fluidi aeriformi. Assicuratasi che la presenza dei gas non altera punto l'irradiazione, ebbero nella differenza dei due effetti trovato il valore di quello solo dell'azione dei fluidi. Tennero nello sperimentare il metodo che si disse a pag. 737, usando un termometro con la bolla di 6 centimetri, che scaldavano fino a $+350^{\circ}\text{C.}$, ed un pallone di rame del diametro di 30 centimetri. Osservata la legge del raffreddamento nel vuoto, rifacevano l'esperienza, dopo messo nel pallone ora dell'aria a diverse densità, ora degli altri fluidi pure a densità diverse.

L'effetto della irradiazione pura dipende dalla differenza tra la temperatura del corpo e quella dei corpi che chiudono lo spazio all'intorno (cerchia). E le leggi sono: *a*) a temperatura costante della cerchia, crescendo in progressione aritmetica gli eccessi di temperatura del corpo, le velocità del raffreddamento crescono come i termini di una progressione geometrica diminuiti di un numero costante; *b*) ad eccesso costante della temperatura del corpo sulla temperatura della cerchia, crescendo in progressione aritmetica le temperature della cerchia, le velocità del raffreddamento crescono in progressione geometrica.

L'effetto del contatto dell'aria: *a*) è il medesimo per tutte le sostanze (La Provostaye e Desains provano che è un po' maggiore in un termometro a bolla argentata che a bolla di vetro nudo); *b*) per una medesima differenza di temperatura fra l'aria ed i corpi, cresce al crescere della pressione che l'aria esercita sulla superficie dei corpi nella proporzione della potenza 0,45 di questa pressione; *c*) cresce al crescere della differenza di temperatura fra l'aria e i corpi, ma più rapidamente che tale differenza, cioè circa in ragione della potenza 1,233 di essa.

Dunque si l'una causa del raffreddamento come l'altra tolgono al corpo, in tempi eguali, quantità di calore che hanno fra loro una maggior ragione che non gli eccessi di temperatura. Perciò il raffreddamento di un corpo diventa meno rapido via via che la sua temperatura diminuisce.

Alle ordinarie pressioni e temperature dell'atmosfera e per eccessi di temperatura compresi fra 20° e 100°C. , un corpo con la superficie di vetro nudo e che sia grande come la bolla del termometro adoperato da Dulong e Petit, perde press'a poco tanto calore per la

irradiazione quanto per il contatto dell'aria. Ma, a differenze di temperatura maggiori di 100° o minori di 20° , l'effetto della radiazione prevale; ed avviene così perché, alle grandi differenze di temperatura, l'effetto della radiazione varia con legge più rapida che non l'effetto del contatto dell'aria, ed alle piccole differenze varia con legge più lenta, e, per un certo tratto intermedio della serie di tali differenze, i due effetti variano con legge press' a poco eguale.

Quando gli eccessi di temperatura sono piccoli, l'effetto della irradiazione prevale dunque a quello del contatto dell'aria; e, siccome allora il primo non si dilunga tanto dalla progressione delle temperature quanto il secondo, così succede che allora è abbastanza giusta la legge di Newton (§ 386).

Secondo Dulong e Petit, la facoltà di sottrarre calore dai solidi è diversa nei diversi gas, e cresce al diminuire del peso specifico di questi, non però in regolare proporzione. I valori di tale facoltà nell'idrogeno, nel gas oleifico, nell'aria comune, nell'acido carbonico, sotto la pressione di 72 centimetri di mercurio, risultano rispettivamente: 3,49; 1,36; 1,00; 0,96; mentre le densità di detti gas sono come i numeri 0,0688; 0,9816; 1,0000; 1,5245.

Ciò che si è detto vale in genere nelle condizioni supposte; ma nei diversi casi speciali, e quando il corpo non sia ottimo conduttore e l'aria non sia tranquilla, è difficile trovare la legge del raffreddamento, perché vi influiscono diverse condizioni, i cui effetti, o non sono facili da valutare, o non sono ancora ben noti. Le principali condizioni influenti sono: 1.^o la caloricità specifica del corpo che si raffredda, 2.^o la sua grandezza e figura, 3.^o la sua facoltà conduttrice, 4.^o la sua facoltà emittente, 5.^o i movimenti dell'aria.

Un corpo che sia isolato in mezzo ad aria o a corpi, la quale od i quali abbiano tutti una stessa temperatura più elevata della sua, acquista calore e per irradiazione dei corpi e per contatto dell'aria: onde si riscalda di continuo fino a non differire sensibilmente in temperatura dall'ambiente. E ciò avviene con le medesime leggi con le quali il corpo si raffredderebbe se fosse più caldo dell'ambiente per un egual numero di gradi.

Le esperienze furono fatte da La Provostaye e Desains col mettere un termometro a riscaldarsi in una sfera annerita, del diametro di 15 centimetri, tenuta a 100° C., col vapore dell'acqua bollente. Le leggi dello scaldarsi sono eguali a quelle del raffreddarsi, ma l'effetto della irradiazione si produce meno celere nel primo fatto che nel secondo, cioè un corpo nel vuoto impiega più tempo a scaldarsi d'un certo numero di gradi che a raffreddarsi di altrettanto, ove sia pari la differenza in meno o in più tra la temperatura sua e quella dei corpi all'intorno. Pare che anche l'azione del contatto

dell'aria sia un po' men celere per uno stesso corpo nel riscaldamento che nel raffreddamento.

La luce.

§ 403. Intorno alla natura della luce si possono fare due ipotesi. Newton pensava che un fluido sottilissimo emanasse dai corpi luminosi, e da questi fosse lanciato con grandissima velocità nello spazio. È questa l'ipotesi dell'*emissione*.

La teoria ora generalmente adottata è quella delle *ondulazioni*, che fu svolta primamente da Huygens e Young. Si suppone che un fluido estremamente sottile ed elastico, chiamato *etere*, sia sparso negli spazi celesti e nell'interno dei corpi, fra molecola e molecola. Il corpo caldo e luminoso, in tale ipotesi, non sarebbe che un corpo le cui particelle compiono particolari vibrazioni rapidissime. Queste si trasmettono all'etere ed in esso si propagano precisamente come nell'aria le vibrazioni di un corpo sonoro.

L'esperienza prova che la prima delle due ipotesi è assolutamente inammissibile, presentandosi già difficoltà gravissime quando si vogliono spiegare i fenomeni della dispersione. Invece la teoria delle ondulazioni vien mano mano confermandosi dai fatti della riflessione (§ 353) e della rifrazione (§ 360), che manifestano analogia sempre maggiore tra i fenomeni delle vibrazioni sonore e quelli delle vibrazioni termo-luminose.

Ma meglio ancora vengono in appoggio di questa teoria i fatti della dispersione della luce e del calore radiante. I raggi diversamente colorati, o aventi una diversa termocrosi, corrispondono, nella teoria delle ondulazioni, a vibrazioni più o meno rapide, come fossero suoni più o meno acuti. Per il diverso periodo di vibrazione questi raggi, variamente rifrangendosi nell'attraversare un prisma, si rendono fra loro distinguibili per colorito di luce o per termocrosi, in modo analogo a ciò che si disse per i suoni, massime dietro le osservazioni di Helmholtz (§ 155 e 156). Non deve poi far meraviglia che in un medesimo fascio di luce bianca, o d'altra luce composta, si trovino insieme riunite vibrazioni differenti; poichè, siccome un corpo elastico vibrante, in un col suono principale, produce non pochi altri suoni, ad esso armonici, vari in numero ed in grado secondo la natura della materia vibrante, i quali rinforzano e per così dire coloriscono lo stesso suono principale, e pur ponno esser riconosciuti distintamente mercè opportuni risonatori; così appunto collo spettroscopio si riconoscono distinte le varie onde luminose, di diversa lunghezza e rifrangenza, che caratterizzano le luci de' vari corpi luminosi, e che insieme commiste producono un'individuata sensazione luminosa.

§ 404. Ma un più minuto esame dei fatti luminosi fece conoscere parecchi altri fenomeni che posero fuori d'ogni dubbio esser la luce nient'altro che un moto vibratorio di un fluido sottilissimo.

La seguente esperienza è dovuta a Fresnel. Un fascio di raggi solari penetra per una sottile fessura in una camera nera, e cade su due specchi piani inclinati tra loro sotto un angolo molto ottuso (O), e così disposti che la comune sezione de' loro piani riesca parallela

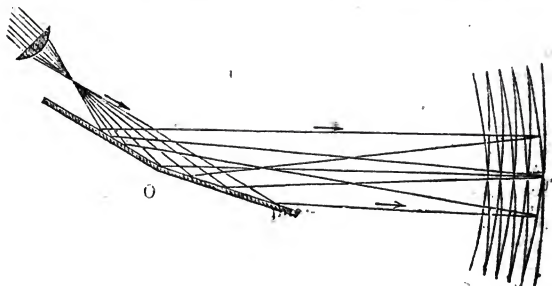


Fig. 395.

alla fessura. I raggi luminosi riflessi da questi due specchi, producono su di un piano bianco, sul quale cadono e vengono a sovrapporsi, l'apparenza di parecchie striscie colorate tra loro equidistanti, e parallele alla intersezione degli specchi. Quest'apparenza risulta meglio distinta se, invece di vederla su d'un diaframma, la si guarda con una lente o con un cannocchiale. Qualora poi la luce avviata su gli specchi sia omogenea, cioè tutta d'un colore, si scorge invece un sistema di molte striscie chiare, separate da linee scure.

Ripetendo l'esperienza con luci di diversi colori, si osserva che le strisce si fanno mano mano più strette, passando dal rosso al violetto, tanto che quelle date dalla luce violetta hanno una larghezza che è appena la metà circa di quelle delle strisce date dalla luce rossa. Le strisce colorate, prodotte dalla luce bianca, provengono dalla sovrapposizione delle strisce oscure e luminose date da ogni colore in particolare. Dicesi poi *interferenza* codesto svigorimento che producono nel loro incontro due luci omogenee, tanto che l'aggiunta di luce a luce può dare in alcuni punti una completa oscurità.

Un fenomeno analogo si osserva quando due fasci luminosi omogenei, entrano per due piccoli e vicini pertugi in una camera buia, sì che i rispettivi coni luminosi vengano a sovrapporsi. Se si guardano le loro sezioni su d'un piano bianco normale al loro asse, nel

segmento comune alle sezioni dei due fasci si osservano alcune strisce di tal colore, separate da linee oscure. Ed allora è facile riconoscere che, facendo cessare l'intersezione delle due luci, col chiudere una delle due aperture, cessa anche l'apparenza delle strisce lucide alternate da strisce nere, ossia non v'è più interferenza.

Codesti fenomeni d'interferenza, che non possono spiegarsi in alcun modo colla teoria newtoniana dell'emissione, mettono invece in chiaro che la luce si propaghi per ondulazioni a modo del suono (§ 147).

Le molecole dell'etere vibrano intorno alla loro posizione d'equilibrio, mentre questo movimento vibratorio si propaga nella direzione del raggio luminoso. Lungo il raggio adunque si trovano, in un dato istante, delle molecole variamente spostate; cosicchè mentre alcune passano per la posizione d'equilibrio, altre ne sono più o meno discoste, da una parte o dall'altra. Tutte però eseguisciono l'intera oscillazione in un tempo eguale, che è la *durata* d'una vibrazione. Ora diconsi nella medesima *fase* due molecole che distano di un medesimo intervallo di tempo dalla posizione d'equilibrio e da una stessa parte.

In un dato istante il movimento vibratorio si comunica ad un certo numero di molecole, distribuite sopra una superficie; queste molecole si mettono a vibrare in fase concordante, e costituiscono ciò che si chiama la *superficie d'onda*. Nel propagarsi del moto ondulatorio si produce quindi una serie di superficie d'onda. Evidentemente vi saranno, a certe distanze prese sul raggio luminoso, delle superficie d'onda dove la fase di vibrazione è identica in un dato istante; e tale si mantiene anche nei successivi istanti, perchè cambia colla stessa legge in tutte le onde considerate. La distanza fra due superficie d'onda di fase identica si chiama *lunghezza d'onda*.

Quando due onde luminose di data natura, cioè corrispondenti ad un egual numero di vibrazioni compite in un dato tempo, s'incontrano con identica fase, come accade quando abbiano percorsi spazi eguali, movendo da un medesimo centro di vibrazione, cospirano tra loro, aumentando l'intensità luminosa: lo stesso accadrà se avranno percorsi spazi che differiscano tra loro di un multiplo esatto della lunghezza di un'onda.

Laddove se codesti spazi percorsi differiranno tra loro di una metà della lunghezza dell'onda o di un numero dispari di volte siffatta metà, si elideranno completamente tra loro, essendo eguali di intensità ed opposte nel verso. Quando poi tal differenza sarà compresa tra quelle or considerate, s'avrà un parziale rinvigorimento od indebolimento con l'incontro delle due onde luminose.

Anche qui, come nel suono (§ 147), la lunghezza l di un'onda luminosa sarà data dal rapporto tra lo spazio v percorso nell'unità di

tempo dalla luce (che è quanto dire la velocità della luce) ed il numero n delle vibrazioni intere, che nell'unità di tempo si effettueranno in quella particolar natura di onda; cioè sarà :

$$nl=v, \text{ od anco } l=vt,$$

posta t la durata di una di codeste vibrazioni intere.

§ 405. Anche quando un fascio di luce omogenea passa per una fessura molto angusta, e se ne osserva una sezione fatta con un diaframma bianco, perpendicolare all'asse del fascio luminoso, appaiono lateralmente strisce lucide alternanti con strisce oscure. Queste apparenze prodotte dagli spigoli della fessura si chiamano *diffrazione* della luce. Operando con luce ordinaria o bianca si notano invece alcune serie di strisce colorate alternanti.

Si ottiene il fenomeno della *diffrazione* pur disponendo un sottil spigolo d'una lamina opaca, in modo che tagli un fascio di luce omogenea parallelamente alla fessura d'accesso della luce stessa, ed osservando la proiezione dell'ombra di tale spigolo su un diaframma bianco situato al di là e perpendicolare all'asse del fascio: appare così una serie di strisce oscure e luminose alternate là dove si dovrebbe, secondo la teoria della formazione delle ombre, avere una illuminazione uniforme; ed invece si scorge una striscia di luce alquanto viva dall'altra banda, ove dovrebbe incominciare l'ombra portata dalla lamina.

Meglio ancora si manifesta la diffrazione della luce prodotta dagli spigoli de' corpi solidi, interponendo nel fascio luminoso penetrato da una stretta fessura in una camera buja, un sottil filo metallico,

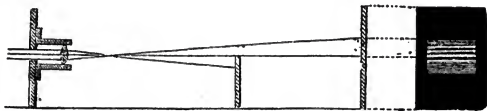


Fig. 396.

ben teso e parallelo all'apertura stessa. Invece di un'ombra regolare secondo i principj del § 349, esso produrrà, dietro di sé, su uno schermo, una linea lucida appunto nel mezzo, ove l'ombra dovrebbe essere più intensa. Ai due lati di essa appariscono due o più linee oscure quando lo schermo sia vicino al filo, e quando le si osservino con una lente. Pertanto in questi casi non regge la supposizione fatta nel dichiarare la formazione delle ombre e penombre, che cioè la luce

si propagghi rigorosamente in linea retta. Colla teoria delle ondulazioni si spiega facilmente come queste diffrazioni dipendono ancora da interferenze di onde. Per esempio, nell'ultimo caso, le linee oscure laterali prodotte da un sottil filo dipendono dall'interferire de' raggi, che muovono dai punti delle porzioni d'onda luminosa che riescono dalle due bande del filo dietro l'interruzione da essa provata.

Fresnel, al quale è dovuta la completa spiegazione dei fenomeni d'interferenza, giunse anche a determinare la lunghezza media delle onde corrispondenti ai vari colori, e quindi il numero delle vibrazioni delle onde corrispondenti ai vari gradi di rifrangibilità, in base ad accurate misure dell'intervallo sussistente tra due consecutive strisce oscure date per interferenza delle varie luci.

Lunghezze delle onde corrispondenti ai vari raggi dello spettro in milionesimi di millimetro.

Limiti dei colori	Valori estremi	Colori principali	Valori medi
Violetto estremo	406	Violetto	423
Violetto-indaco	439	Indaco	449
Indaco-azzurro	459	Azzurro	475
Azzurro-verde	494	Verde.	512
Verde-giallo	532	Giallo.	551
Giallo-arancio	571	Arancio	583
Arancio-rosso.	596	Rosso	620
Rosso estremo	645		

Or ecco i numeri delle vibrazioni compiute in un minuto secondo di tempo dalle onde luminose le cui lunghezze si esposero qui sopra come valori medj corrispondenti ai diversi colori principali.

Violetto	728 000 000 000 000
Indaco	686 000 000 000 000
Azzurro.	648 000 000 000 000
Verde	601 000 000 000 000
Giallo	529 000 000 000 000
Arancio.	528 000 000 000 000
Rosso	497 000 000 000 000

§ 406. Anche gli *anelli colorati*, che si ottengono per diversi modi, ricevono spiegazione dal fatto dell'interferenze delle varie luci. S'è già veduto che una goccia d'un liquido qualsiasi, riducendosi per espansione (§ 283) in lamina molto sottile ed a grossezza continuamente decrescente dal centro alla periferia, offre per riflessione una

bella serie di anelli colorati. Simili anelli presentano le bolle costituite da un velo liquido tal po' viscoso gonfiato da un gas, poichè,



Fig. 397.



Fig. 398.

per gravità, codesto velo assume grossezze grado grado crescenti dalle parti culminati alle infime: anzi, quando il velo alla sommità si fa estremamente sottile, perde ivi ogni colore ed offre l'aspetto d'una macchia nera.

Meglio si determinano le condizioni di questo fenomeno, disponendo sovra la faccia ben piana d'una lastra di cristallo la convessità d'una lente piano-convessa, il cui raggio di curvatura sia molto grande; con ciò riman chiuso fra le due superficie, la piana e la convessa, uno strato d'aria la cui grossezza va crescendo a partire dal punto di mutuo contatto delle due superficie. Ora, guardando al di sopra dei due vetri, si scorge una macchia nera, concentrica col detto punto di contatto, e circondata da una serie di anelli colorati, a tinte mano mano più sfumate. Guardando invece attraverso i due vetri verso uno spazio illuminato, si vede nel centro un'aureola bianca, ed intorno una serie di anelli colorati, i colori de' quali sono complementari di quelli degli anelli di luce riflessa.

Adoperando però una luce monocromatica, in luogo di anelli a vario colore, si scorge una serie di anelli alternativamente chiari (di quel colore) ed oscuri, la cui vivacità decresce coll'aumentare del diametro dell'anello. In questo caso, guardando i vetri per riflessione, si scorgeranno i raggi riflessi dalle due superficie vitree contigue, che avrauno percorso un cammino di diversa lunghezza; e però ancora dove codesta differenza corrisponderà ad un multiplo della larghezza dell'onda s'avrà la maggior luce, e dove corrisponderà ad un numero dispari di volte la semi-lunghezza d'onda s'avrà oscurità, per la completa interferenza delle due onde. Newton, determinando la grossezza della falda d'aria per ciascun colore prismatico d'anello lucido, trovò per essa 101,5 milionesimi di millimetro per il violetto estremo, e 161,1 milionesimi per il rosso estremo; le quali grossezze sono eguali giustamente ad un quarto della lunghezza delle onde corrispondenti agli stessi limiti di colore.

§ 407. I corpi cristallizzati diafani non appartenenti al sistema regolare, avente per forma tipica il cubo, hanno la proprietà di

presentare duplicata l'immagine dell'oggetto che si guarda attraverso di essi (a). In modo più distinto si presenta questa facoltà nel carbonato calcareo romboidale, denominato spato islandico, e fu per esso che il Bartolino (1669) studiava primamente la *doppia rifrazione*. La figura di questo cristallo è quella di un parallelepipedo obliquo a faccie romboidali, che offre due angoli solidi ottusi e sei acuti. Una sezione fatta a questo cristallo con un piano (*adbc*) passante per lo spigolo di un angolo solido ottuso e dividente per metà l'angolo piano opposto si chiama *sezione principale*, e dicesi *asse* la diagonale (*ab*) di questa, che riesce egualmente inclinata alle faccie del cristallo. Siccome poi colla sfaldatura meccanica può dividersi questo cristallo in altri minori ad esso simili, così in ogni piano parallelo alla detta sezione si avrà una sezione principale, e si avrà un asse in ogni retta che nello stesso solido sia parallela alla detta diagonale.

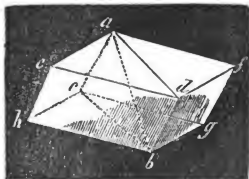


Fig. 399.

Disponendo un cristallo di spato islandico attraverso un sottil fascio luminoso introdotto per un piccolo pertugio in una camera buia, si scorgeranno al di là di esso due fascetti luminosi; facendo ruotare il cristallo sovra sè stesso, si osserva che di quei due fascetti uno rimane immobile e l'altro gira col cristallo. Ora il primo di questi, che segue la legge della rifrazione normale, dicesi *fascio ordinario* e l'altro dicesi *straordinario*. Però quando il fascio incidente cade in una sezione principale, anche il raggio rifratto straordinario si mantiene nel piano di incidenza, ma non mantienisi però costante il rapporto fra il seno d'incidenza e quello di rifrazione per codesto fascio straordinario come accade per l'ordinario, inquantochè il primo tende a star sempre più vicino dell'altro all'angolo acuto del romboide formato dalla sezione principale. Se poi il cristallo vien tagliato con piani paralleli all'asse, così da aver una

(a) La birifrangenza sembra, in ogni caso, dovuta ad una mancanza di simmetria nella costituzione molecolare del solido diafano. Così, avendosi alcuni prismi triangolari di un'egual pasta di vetro e di egual sezione, ma di due differenti lunghezze, e disponendoli in modo che formino un parallelepipedo rettangolo, collegati da una montatura metallica, lasceranno passare indiviso un fascio luminoso che li attraversi normalmente a due faccie del parallelepipedo; laddove esercitando una pressione su le basi dei prismi più lunghi, e non su gli altri, si da comprimere i primi, modificandone la struttura, il fascio unito incidente emergerà diviso, come da un cristallo birifrangente.

faccia di incidenza perpendicolare all'asse medesimo, entrambi i fasci luminosi emergenti seguiranno in tutto le leggi della rifrazione normale, cioè entrambi i fasci rifratti si manterranno nel piano di incidenza, ed insieme serberanno (ciascuno per sè) un costante rapporto fra i seni d'incidenza e di rifrazione. Quando infine un cristallo di spato venga tagliato in due piani normali all'asse, e si faccia cadere un fascetto luminoso normalmente ad una di queste sezioni, esso emergerà dall'altra sezione senza essersi diviso.

Determinando l'indice di rifrazione pei due raggi dati dallo spato islandico, si trova che quello del raggio straordinario ha un valore minore di quello dell'ordinario: laddove in altri cristalli, come nel quarzo, è minore l'indice di rifrazione pel raggio ordinario che per lo straordinario. Da qui la distinzione dei cristalli birifrangenti in cristalli *negativi* o *repulsivi* ed in cristalli *positivi* od *attrattivi*, secondo che i raggi straordinarii divergono meno o divergono di più degli ordinari dalla normale di incidenza. E poichè sonvi cristalli, come quelli di nitrato di potassa, i quali presentano due direzioni di indivisibilità pei raggi rifratti, in luogo di una sola, come s'è detto per lo spato islandico, così i cristalli birifrangenti si distinguono anche in *cristalli ad un asse* e *cristalli a due assi*. Però per questi ultimi i due fascetti rifratti sono entrambi straordinari, mentre pei primi, come s'è detto sopra, l'uno è ordinario e l'altro straordinario.

Col *prisma* così detto di Nicol ottiensì di vedere solo l'immagine straordinaria di un oggetto guardato attraverso di esso. Un cristallo di spato islandico, terminato da faccie parallele alle faccie naturali, è tagliato in due secondo un piano perpendicolare alla sezione principale. Le due metà si riuniscono poi nella posizione primitiva mediante un sottil strato di balsamo del Canada. L'indice di rifrazione di questa sostanza è intermedio fra l'indice ordinario e

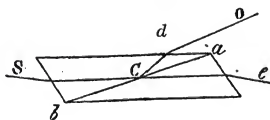


Fig. 400.

l'indice straordinario dello spato: perciò vi sarà un angolo d'incidenza tale che il raggio ordinario verrà riflesso totalmente, mentre lo straordinario passerà liberamente. Si taglia il cristallo in direzione obliqua per modo che questa riflessione totale del solo raggio

ordinario avvenga quando il raggio incidente (*CS*) è quasi normale. Allora il raggio rifratto ordinario vien riflesso secondo la *CdO* e il raggio straordinario (*Ce*) procede oltre emergendo parallelo al raggio incidente.

Foucault modificò il prisma di Nicol, togliendo lo strato di balsamo, e tenendo le due metà del cristallo alquanto discoste. Il sottil strato d'aria che vi rimane fa lo stesso effetto del balsamo, ma l'angolo d'incidenza deve esser compreso fra limiti più ristretti.

§ 408. Sovrapponendo uno all'altro due romboedri di spato islandico, si osservi attraverso di essi un punto segnato su di un piano bianco. Qualora le facce analoghe dei due cristalli sieno tra loro parallele e quindi anche le loro sezioni principali, e si guardi in una direzione non molto obliqua alla faccia superiore, si vedranno due immagini del punto attraverso al doppio romboide, come accadrebbe



Fig. 401.



Fig. 402.

attraverso un solo di essi, fuorchè sarà aumentata la distanza fra le due immagini del punto. Qualora invece, tenendo fermo il romboedro inferiore, si farà ruotare lentamente il superiore, accadrà che in prossimità delle prime immagini ne sorgeranno altre due, l'una straordinaria prossima alla prima ordinaria, e l'altra ordinaria vicina alla prima straordinaria. Queste nuove immagini, dapprima appena visibili, si renderanno sempre più distinte, mentre le anteriori diverranno sempre più deboli, tantochè le quattro immagini riusciranno eguali in intensità, quando le sezioni principali dei due romboedri faranno tra loro un angolo retto di 45° ; e quando questo angolo giungerà a 90° , le immagini prime saranno sparite e le nuove avranno la massima intensità. E così, continuando la rotazione, ad ogni nuovo angolo semiretto, si scambieranno alternativamente le condizioni di intensità delle due coppie anzidette di immagini.

Pertanto, la luce che abbia attraversato un cristallo birifrangente acquista la proprietà di non più suddividersi passando per un secondo cristallo, tanto quando le loro sezioni principali sono parallele, come quando sono inclinate ad angolo retto. Però nel primo caso i fasci luminosi percorrono il secondo cristallo colla stessa fase di rifra-

zione subita nel primo; nel secondo caso la fase è invertita, cioè i raggi ordinari del primo diventano straordinari nel secondo, e viceversa.

Codesta modificazione subita dalla luce, attraversando un cristallo birifrangente, venne chiamata *polarizzazione*.

Ma la luce può acquistare la stessa proprietà per semplice riflessione ed anche per rifrazione semplice, come ora diremo. Facendo cadere su di una lastra di vetro un fascio di luce, sicchè formi con essa un angolo di $35^{\circ} 25'$, ossia formi un angolo di $54^{\circ} 35'$ colla normale al punto d'incidenza, ed esaminando poi il fascio così riflesso con un cristallo di spato islandico, si riconosce che esso si comporta come un raggio polarizzato, cioè come che emergesse da altro cristallo simile e vi avesse subita la rifrazione ordinaria. Il piano nel quale è qui avvenuta la riflessione del raggio polarizzato dicesi il suo *piano di polarizzazione*.

Ed anche quella parte di luce che, non essendo riflessa, avrà attraversata la detta lastra darà segno di polarizzazione, benché imperfetta; in quanto che, facendole attraversare un cristallo di spato, si dividerà bensì in due raggi, qualunque sia la posizione della sezione principale rispetto al piano di rifrazione.

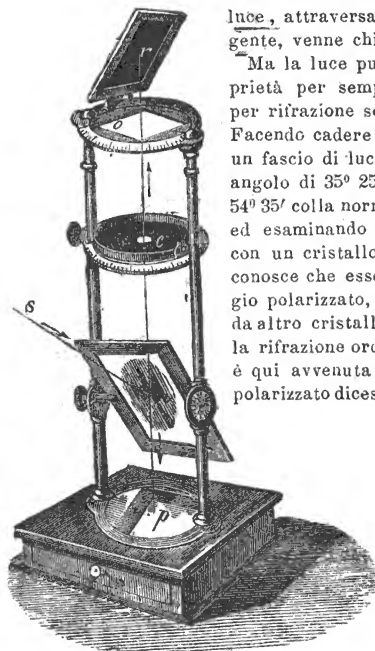


Fig. 403.

ne, ma i due raggi cambieranno di intensità col mutare la posizione della sezione principale, restando minima la intensità del raggio rifratto ordinario, quando il piano della sezione principale è diretto secondo il piano d'incidenza e di rifrazione della lastra. Perciò la luce emergente da questa, opera come una luce polarizzata imperfettamente, il cui piano di polarizzazione sia perpendicolare al piano di rifrazione. Tuttavia, se questa luce si farà passare per parecchie lastre di vetro parallele alla prima, essa verrà mano mano spogliandosi di quella parte di luce polarizzata nel piano di rifrazione che ancora conteneva, e si renderà sempre più distinta la polarizzazione

perpendicolare al piano stesso di rifrazione, dando infine una luce perfettamente polarizzata.

Può ottenersi la polarizzazione della luce anche per assorbimento, come accade colla tormalina. È un cristallo comunemente di forma prismatica, che gode della doppia rifrazione ed il cui asse ottico è parallelo agli spigoli del prisma. Prendendo un cristallo di tormalina a tinta oscura e tagliandolo a forma di un prisma triangolare molto acuto cogli spigoli paralleli all'asse ottico, si noteranno i seguenti



Fig. 404.

fenomeni. Guardando un punto luminoso attraverso una parte vicina alla sommità si avranno due immagini, ed i due raggi sono polarizzati ad angolo retto. Se poi, tenendo ferma la posizione dell'occhio e del punto luminoso, si mova il prisma parallelamente a sè stesso, per modo che aumenti di lunghezza la parte del cristallo attraversata dalla luce, una delle immagini s'indebolisce e presto scompare rimanendo solo il raggio straordinario.

Laonde la tormalina costituisce un mezzo molto semplice, sia per avere un fascio polarizzato, sia come analizzatore di altra luce polarizzata. Sovrapponendo due tormaline (fig. 403) tagliate parallelamente al loro asse di cristallizzazione, e grosse poc' oltre due millimetri, e guardando attraverso d'esse verso una sorgente luminosa, la si scorgerà, benchè un poco indebolita, quando gli assi delle due lamine sieno paralleli. Che se, stando ferma una delle tormaline, si farà ruotare l'altra nel suo piano, la luce andrà indebolendosi sino a scomparire quando gli assi saranno perpendicolari tra loro, poichè allora il raggio emergente dalla prima tormalina, essendo polarizzato perpendicolarmente al di lei asse, vien assorbito dalla seconda, al cui asse riesce parallelo il piano di polarizzazione.

§ 409. Quando un fascio di luce polarizzata cade normalmente su di una lamina birifrangente, tolta da un cristallo con sezioni perpendicolari all'asse, ne emerge, secondo che si è detto sopra, conservando il piano di polarizzazione che avea nella incidenza. Fanno eccezione a questa regola le lamine di quarzo, poichè alcune di esse fanno ruotare il piano di polarizzazione a destra, altre a sinistra, epperò son dette le prime *destrogire* e le altre *levogire*, secondochè

la lamina vien tolta da diversi cristalli di quarzo. Questo fenomeno, che fu chiamato *polarizzazione rotatoria*, fu studiato specialmente da Biot, il quale trovò che la rotazione del piano di polarizzazione, per una data lamina, cresce col grado di rifrangibilità dei vari colori e colla grossezza della lamina quando sia tolta da uno stesso cristallo. Alcuni liquidi ed alcuni vapori presentano una proprietà analoga a questa del quarzo: sono destrogiri lo zucchero di canna sciolto nell'acqua, l'essenza di cedro, l'acido tartrico, la destrina, e lo zucchero delle urine dei diabetici; sono invece levogire l'essenza di trementina, l'essenza di lauro e la gomma arabica.

Herschel ha dimostrato che la proprietà di far ruotare piuttosto a destra che a sinistra il piano di polarizzazione dipende dalla speciale struttura molecolare del cristallo.

E, come s'è notato altrove (pag. 646), talune sostanze solide diafane, sotto l'azione di una potente elettro-calamita, possono subire tali modificazioni nelle loro condizioni molecolari da produrre una rotazione, sia a destra, sia a sinistra, nel piano di polarizzazione di un fascio polarizzato che le attraversi.

§ 410. Anche la luce polarizzata può in taluni casi presentare i fenomeni d'interferenza notati sopra nella luce ordinaria. Fresnel ha verificato che due raggi polarizzati nello stesso piano interferiscono fra loro, appunto come i raggi ordinari; così non fanno due raggi polarizzati primitivamente in piani tra loro perpendicolari, ancorché poi siano ridotti nello stesso piano di polarizzazione.

Da questi fatti e da altre considerazioni, che non è qui dato svolgere, si inferisce che, secondo la teoria delle onde luminose, il polarizzare un fascio di luce significa il ridurre tutte le sue vibrazioni trasverse a giacere in uno stesso piano, perpendicolare a quello di polarizzazione.

Ed è perciò che la luce ordinaria, attraversando una lamina di tormalina, tagliata parallelamente all'asse, riesce polarizzata da un piano normale a questo asse.

E ancora se nella doppia rifrazione il raggio ordinario è polarizzato nel piano della sezione principale, mentre lo straordinario lo è in un piano ad esso perpendicolare, ciò significa che le vibrazioni trasverse del raggio ordinario si troveranno in un piano perpendicolare alla sezione principale, e quelle del raggio straordinario giaceranno nel piano della stessa sezione.

§ 411. Pur dal complesso dei diversi fenomeni prodotti dalla luce, grazie alle sue vibrazioni di varia ampiezza ed intensità, per le quali vale a produrre in noi sensazioni luminose e caloriche, e nei corpi mutazioni termiche e chimiche, si può cavare un nuovo argomento a favore dell'asserito stato dinamico delle molecole de' corpi, poichè queste mostrano di operare come centri di smuovimento dell'etere che le involge.

CONCLUSIONE.

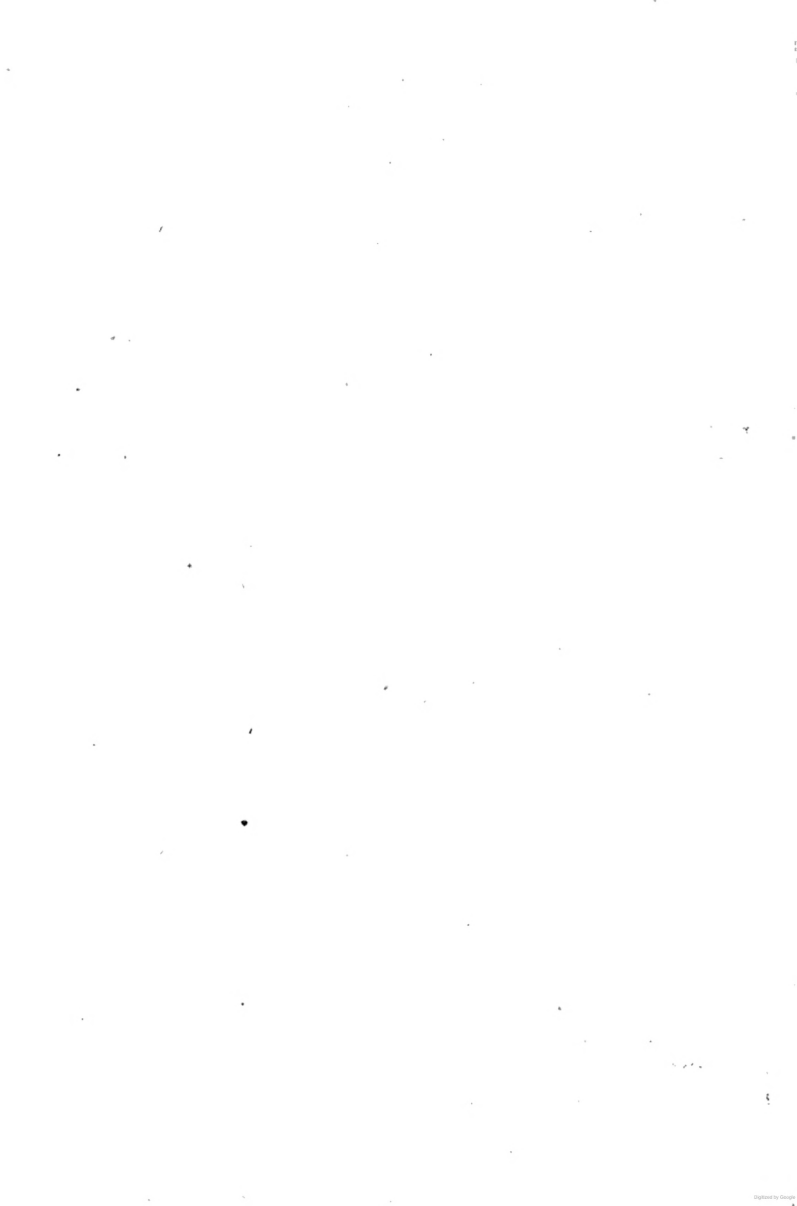
§ 412. L'insieme delle leggi fin qui esposte per i vari ordini di fenomeni fisici, e segnatamente quanto si disse nei §§ 163, 254, 282, 324, 330, 331, 335, 344 e 411, concorrono a dimostrare la realtà dei due principi che abbiamo già più volte accennati: il principio della tramutabilità e connessione delle varie forme di energie fisiche, ed il principio della conservazione della forza (la somma delle energie attuali e potenziali dei corpi). Però, a render sempre meglio manifesta la verità ed importanza di questi principi conviene che nello studio della fisica si curi a spogliare i concetti dei vari ordini di fenomeni dalle presupposizioni di tante speciali forze o di tanti speciali fluidi, per tener conto soprattutto di quella energia che è nei corpi, dipendentemente da diversi moti propri delle loro molecole, le cui efficienze vogliansi calcolare in base ai principi fondamentali della meccanica.

Altrove (a) dichiarai con qualche particolarità il significato e l'utilità del predetto principio della trasformabilità reciproca di tutte le forme di energia fisica, che sogliam denominare, secondo i casi: forza motrice, calore, affinità, elettricità, magnetismo e luce, talchè sarebbe superfluo il ridire quanto ebbi là ad esporre. E da ciò la intima connessione tra tutti i fenomeni della natura e le molteplici influenze esercitate dal sole sui pianeti che gli stanno attorno, tanto che esso può riguardarsi tuttodì il primo movente delle varie forze motrici che la natura e l'uomo mettono in atto su la terra.

Spetta però agli ulteriori studi de' fisici il trovar modo di valutare con approssimazione il valore dinamico di date azioni elettriche, magnetiche e luminose, siccome si è fatto già per molte azioni termiche o chimiche. Quando ciò si ottenga, si avrà non solo agevolata la cognizione della fenomenalità fisica, ma saranno altresì favorite nuove applicazioni de' principi fisici alle arti meccaniche e chimiche.

(a) *Lezioni di Fisica*. Milano 1870.

FINE.



INDICE

AL LETTORE	Pag. v
PROEMIO DELLA PRIMA EDIZIONE.	» ivi

CAPO I.

Proprietà generali dei corpi	» 1
Definizioni preliminari	» ivi
Ripartizione delle scienze fisiche	» 2
Materia e forza	» 3
Estensione.	» ivi
Impenetrabilità, porosità, divisibilità	» 4
Stati d'aggregazione dei corpi	» 5
Gravità, elasticità, variabilità di volume	» 6
Prove della porosità fisica	» 7
Estrema divisibilità dei corpi	» 8
Sistema metrico.	» 10
Nonio	» 11
Sferometro	» 13
Catetometro	» 15
Mobilità e moti attuali dei corpi	» 16
Leggi d'inerzia	» 19

CAPO II.

Nozioni di Dinamica	» 22
Moto uniforme	» 23
Misura delle forze motrici istantanee: massa e densità dei corpi	» 24

Moto uniformemente variabile	Pag.	26
Misura delle forze motrici continue	»	28
Indipendente coesistenza di più moti in un corpo	»	29
Il principio delle velocità virtuali	»	36
Di alcune macchine semplici	»	40
Composizione dei moti paralleli	»	47
Leggi dell'urto	»	49
Del moto centrifugo	»	57

CAPO III.

Della Gravità	»	61
Direzione della gravità	»	ivi
Centro di gravità dei corpi	»	64
La bilancia	»	67
Leggi del moto dei gravi	»	70
Moto dei gravi lanciati in alto	»	80
Moto oscillatorio dei pendoli	»	81
Differenze nella gravità sulla terra	»	87
Prove del moto rotatorio terrestre	»	93
Prove della gravitazione universale	»	95
Densità media della terra	»	106

CAPO IV.

Idrostatica	»	109
Principio di Pascal	»	110
Condizioni d'equilibrio d'un liquido grave	»	112
Pressioni di gravità nell'interno dei liquidi	»	113
Pressione sul fondo de'vasi	»	115
Pressione su le pareti laterali	»	118
Liquido entro vasi comunicanti	»	119
Condizione fisica delle pressioni ne' liquidi gravi	»	122
Principio di Archimede	»	132
Densità relativa dell'acqua (tabella)	»	139
Peso di un litro d'aria in grammi (tabella)	»	140
Peso specifico de' solidi e de' liquidi	»	ivi
Peso specifico di vari corpi (tabella)	»	153

CAPO V.

Aerostatica	»	156
Proprietà dei fluidi aeriformi	»	ivi
Peso dell'aria	»	157



Pressione atmosferica	Pag. 158
Espansività dei gas	» 164
Barometri	» 168
Pressione barometrica ridotta a 0° (tabella)	» 174
Legge di Boyle	» 175
Applicazioni della legge di Boyle	» 178
Peso specifico e velocità molecolare dei gas	» 185
Macchine pneumatiche	» 190
Trombe	» 196
Sifone e fontane	» 199

CAPO VI.

Coerenza dei corpi.	» 204
Forme regolari dei solidi	» ivi
Tenacità e durezza dei solidi	» 207
Elasticità dei solidi	» 210
Comprimibilità dei liquidi	» 216
Coesione, viscosità e contrattilità dei liquidi	» 221
Comprimibilità dei gas	» 233

CAPO VII.

Acustica	» 238
Condizioni di un suono	» 239
Velocità del suono ne'vari corpi	» 242
Moto ondulatorio	» 246
Riflessione e rifrazione dei suoni	» 250
Altezze dei suoni	» 252
Scala musicale	» 254
Risonanza	» 259
Tubi sonori	» 266
Interferenze e coincidenze dei suoni	» 271
Composizione dei moti vibratorii sonori	» 273
Udito	» 275
Voce	» 279

CAPO VIII.

Termologia	» 281
Termometro	» 283
Dilatazione termica dei solidi	» 288
Dilatazione termica dei liquidi	» 297
Dilatazione termica dei gas	» 304

Principi di termometria	Pag. 309
Conduttività termica interna	» 317
Varia caloricità dei corpi	» 323
Liquefazione dei solidi	» 344
Solidamento dei liquidi	» 352
Formazione dei vapori	» 355
Tensione massima dei vapori	» 360
Miscele di vapori e gas	» 369
Densità relativa dei vapori	» 372
Evaporazione dei liquidi	» 377
Ebollizione dei liquidi	» 379
Calorie di vaporizzazione dei liquidi	» 384
Lavori corrispondenti alle calorie di vaporizzazione	» 389
Applicazioni	» 397
Liquefazione dei gas	» 398
Fenomeno di Leidenfrost	» 399
Umidità atmosferica	» 401
Macchine motrici a vapore	» 415
Varie fonti di calore	» 426
Termogenesi meccanica	» 427
Teoria termo-dinamica	» 431
Termogenesi chimica	» 439
Termogenesi negli animali	» 450
Termogenesi nei vegetali	» 457
Del calor solare e terrestre	» 458

CAPO IX.

Di alcune azioni molecolari.	» 467
Espansività dei liquidi	» ivi
Diffusività dei gas	» 470
Diffusività dei liquidi	» 471
Permeazione de' liquidi ne' solidi	» 476
Osmosi fra i liquidi	» 480
Condensazione dei gas sui solidi	» 485
Osmosi gasosa	» 488
Moti brauniani	» 489
Azioni chimiche	» 490

CAPO X.

Elettrologia	» 492
Polarità dei magneti	» ivi

Induzione magnetica.	Pag. 493
Magnetizzazione	» 499
Magnetismo terrestre	» 504
Variazioni del magnetismo terrestre.	» 510
<i>Fenomeni elettrici</i>	» 514
Elettromozione meccanica.	» 515
Ipotesi	» 523
Induzione elettrostatica	» 529
Polarizzazione dei coibenti	» 534
Potere induttivo dei coibenti	» 537
Induzione reciproca	» 542
Stato dei corpi elettrizzati	» 544
Coibenti armati	» 554
Elettromotori ad induzione	» 562
Scariche dei coibenti armati.	» 571
Elettricismo atmosferico	» 576
<i>Correnti elettro-chimiche</i>	» 581
Elettromozione chimica.	» 583
Elettromotori composti.	» 587
Diverse combinazioni voltiane	» 588
Leggi d'Ohm	
Azioni elettrolitiche	
Azione termica delle correnti	
Azione fisiologica delle correnti.	
<i>Fenomeni elettro-magnetici</i>	
Azioni mutue tra le correnti elettriche	» ivi
Azioni mutue tra magneti e correnti.	» 610
Galvanometri o reometri	» 614
Elettro-calamite	» 617
Ipotesi sui fenomeni elettro-magnetici	» 621
Correnti d'induzione	» 623
Elettromotori magneto-elettrici ad induzione	» 634
Polarità magnetica di tutti i corpi	» 640
Fenomeni termo-elettrici	» 647
Correnti elettro-organiche	» 651

CAPO XI.

Ottica

Propagazione della luce	»
Velocità della luce	
Intensità relativa delle luci	
Riflessione della luce	

Specchi	Pag. 677
Rifrazione della luce	» 677
Prismi	» 683
Indice di rifrazione dei vari corpi (tabella)	» 688
Lenti	» 690
Analisi della luce	» 697
Righe degli spettri	» 702
Acratismo	» 707
Colori dei corpi	» 709
Organo della vista	» 710
Strumenti ottici	» 714
Radiazioni termiche	» 721
Riflessione dei raggi termici	» 722
Conduttività termica superficiale dei corpi	» 737
Rifrazione dei raggi termici	» 738
Termocrosi dei corpi	» 741
Raggi termici e chimici dello spettro	» 745
Reciproco raggiamiento termico tra corpi	» 749
La luce	» 753
Interferenze delle luci	» 754
Doppia rifrazione	» 778
Polarizzazione della luce	» 781
<i>Conclusioni</i>	» 765

ERRATA-CORRIGE.

La penultima linea della pag. 416, dov'è detto: *la precedente figura rappresenta ecc.*, deve dire invece: *la seguente figura (173) rappresenta ecc.*

